



TUGAS AKHIR - TL141584

**ANALISA PENGARUH REDUKTOR ALUMINIUM (Al)
TERHADAP SIFAT KAPASITIF MATERIAL
GRAPHENE UNTUK APLIKASI SUPERKAPASITOR**

ALIF NURROHMAN HAKIM
NRP. 02511440000072

Dosen Pembimbing
Diah Susanti, S.T.,M.T.,Ph.D.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR – TL 141584

**ANALISA PENGARUH REDUKTOR ALUMINIUM (Al)
TERHADAP SIFAT KAPASITIF MATERIAL
GRAPHENE UNTUK APLIKASI SUPERKAPASITOR**

ALIF NURROHMAN HAKIM
NRP 02511440000072

Dosen Pembimbing
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
Haniffudin Nurdiansyah S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
2018

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**THE ANALYSIS OF ALUMINIUM (Al) EFFECT
REDUCTOR ON CAPACITIVE PROPERTIES OF
GRAPHENE MATERIAL BASED SUPERCAPASITOR**

ALIF NURROHMAN HAKIM
NRP 02511440000072

Advisor
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.
Haniffudin Nurdiansyah S.T., M.T.

DEPARTMENT OF MATERIAL ENGINEERING
Fakulty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya
2018

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH REDUKTOR ALUMINIUM (Al)
TERHADAP SIFAT KAPASITIF MATERIAL *GRAPHENE*
UNTUK APLIKASI SUPERKAPASITOR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Material Inovatif

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ALIF NURROHMAN HAKIM

NRP. 02511440000072

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Haniffudin Nurdiansyah S.T., M.T. (Pembimbing II)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISA PENGARUH REDUKTOR ALUMINIUM (Al) TERHADAP SIFAT KAPASITIF MATERIAL *GRAPHENE* UNTUK APLIKASI SUPERKAPASITOR

Nama Mahasiswa : Alif Nurrohman Hakim
NRP : 02511440000072
Departemen : Teknik Material
Dosen pembimbing : Diah Susanti, S.T., M.T., P.h.D
Co-pembimbing : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Abstrak

Media penyimpanan energi listrik merupakan salah satu material yang perlu dikembangkan di era ini. Salah satu media penyimpanan listrik adalah *electric double layer capacitor* (EDLC). *Graphene* adalah material karbon berlapis tunggal yang memiliki sifat-sifat unggul dalam aplikasi EDLC karena konduktifitas listrik dan luas permukaan aktif yang tinggi. Sintesis *graphene* dengan reduktor aluminium diharapkan mampu meningkatkan konduktifitas listrik sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh reduktor Aluminium pada *graphene* terhadap sifat kelistrikannya dan struktur *graphene*. Metode Hummer yang dimodifikasi diikuti dengan proses *hydrothermal* digunakan untuk mensintesis *reduced graphene oxide* (rGO). Penelitian ini menggunakan aluminium serbuk sebagai reduktor dengan variasi penambahan massa reduktor 0,3 gram, 0,6 gram dan 0,9 gram. Material yang disintesis dikarakterisasi dengan menggunakan XRD, SEM-EDX, FTIR, FPP, dan CV. Sifat kapasitif elektroda diukur dengan melakukan uji CV dengan rentang scan rate 5, 10, 50 dan 100 mV/s. Hasil penelitian ini menunjukkan morfologi *graphene* dengan single layer yang tipis, lebar dan distribusinya merata. Dan juga didapatkan nilai kapasitansi spesifik yang paling optimal pada penambahan massa reduktor 0,9 Al sebesar 150.05 F/g.

Kata Kunci : *Graphene*, Aluminium (Al), Superkapasitor, Grafit Oksida

(halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF EFFECT OF ALUMINIUM REDUCE (AL) ON THE GRAPHENE MATERIAL CAPACITIVE PROPERTIES FOR SUPER CAPACITOR APPLICATIONS

Name of Student : Alif Nurrohman Hakim
NRP : 02511440000072
Department : Materials Engineering
Supervisor : Diah Susanti, S.T., M.T., P.h.D
Co-counselor : Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Abstract

Storage media of electrical energy is one of the materials that need to be developed in this era. One of the electric storage media is electric double layer capacitor (EDLC). Graphene is a single-layer carbon material that has superior properties in EDLC applications due to its high electrical conductivity and active surface area. Graphene synthesis with aluminium Reducers is expected to increase electrical conductivity so that this study aims to determine the effect of Aluminum Reducers on graphene on electrical properties and graphene structure. The modified hummer method followed by a hydrothermal process is used to synthesize reduced graphene oxide (rGO). This research uses aluminium powder as a reducing agent with variation of 0.3 gram reducer mass, 0.6 gram and 0.9 gram. The synthesized material is characterized using XRD, SEM-EDX, FTIR, FPP, and CV. The capacitive properties of the electrode were measured by performing a CV test with a scan rate range of 5, 10, 50 and 100 mV / s. The results of this study show graphene morphology with single layer thin, wide and evenly distributed. And also obtained the value of the optimal capacitance of the most optimal on the addition of 0.9 Al reduction mass of 150.05 F / g.

Keywords: Graphene, Aluminum (Al), Super Capacitor, Graphite Oxide

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul **-Analisa Pengaruh Reduktor Aluminium (Al) Terhadap Sifat Kapasitif Material Graphene Untuk Aplikasi Superkapasitor.** yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Jurusan Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, dan bimbingan kepada penulis hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang
2. Kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan moril, materiil dan doa.
3. Ibu Diah Susanti, S.T.,M.T.,Ph.D dan bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir.
4. Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Pendanaan penelitian dari Ibu Diah Susanti, ST., MT., Ph.D melalui Penelitian Lab Based Education Dana Non PNPB ITS Tahun 2018
6. Ibu Widyastuti S.T. selaku dosen wali yang membimbing penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Material.
7. Seluruh dosen Teknik Material yang telah memberikan ilmu yang dapat menjadi bekal untuk masa yang akan datang.
8. Mba Yeny Widya Rakhmawati selaku petugas Lab Kimia Material dimana sering membantu penulis dan meramaikan suasana lab dalam penelitian ini.

9. Samuel Siregar selaku partner penulis yang telah membantu penulis baik dukungan materiil dan moral dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir
10. Renaldi Situmorang dan teman-teman anggota Laboratorium Kimia Material yang telah membantu penulis dalam menyusun laporan ini.
11. Esef, Jugernaut, Pudge dan para guardian-guardian yang telah memberi penulis pengalaman bagaimana untuk saling bekerjasama, berkolaborasi dan pantang menyerah.
12. Seluruh pihak, pegawai dan petugas penguji yang telah membantu dalam penulisan laporan ini.
13. Septina Dewi yang telah mendukung penulis pada masa-masa sulit membuat laporan Tugas Akhir

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua.

Surabaya, 28 Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Masalah	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Graphene	5
2.1.1 Morfologi <i>Graphene</i>	7
2.1.2 Sifat listrik <i>Graphene</i>	17
2.2 Sintesis Graphene	19
2.2.1 <i>Thermal Chemical Vapor Deposition</i> (Thermal CVD).....	19
2.2.2 Chemical Reduction.....	21
2.3 Reduktor Aluminium	26
2.4 Superkapasitor	29
2.4.1 EDLC (<i>Electric Double Layer Capacitor</i>) ...	30
2.4.2 Karakterisasi Superkapasitor.....	33
2.5 Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya	35
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 Bahan Penelitian.....	37
3.2 Alat Penelitian	37

3.3	Metode Penelitian.....	39
3.3.1	Sintesis Grafit Oksida (GO).....	40
3.3.2	Sintesis Reduced <i>Graphene Oxide</i> (rGO) ..	42
3.3.3	Pembuatan Elektroda	44
3.4	Pengujian.....	45
3.4.1	<i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) dan EDS	47
3.4.2	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	49
3.4.3	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	51
3.4.4	<i>Four Point Probe</i> (FPP).....	53
3.4.5	<i>Cyclic Voltametry</i> (CV)	55
BAB 4	ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	57
4.1	Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD).....	57
4.2	Hasil Pengujian Fourier Transform Infrared (FTIR) 62	
4.3	Hasil Pengujian SEM-EDX	65
4.4	Hasil Pengujian Four Point Probe (FPP)	75
4.5	Hasil Pengujian Cyclic Voltametry (CV)	76
BAB 5	KESIMPULAN	85
5.1	Kesimpulan	85
5.1	Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA	xv
LAMPIRAN.....		xvii
BIODATA PENULIS.....		xviii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Variasi tipe sp^2 hibridisasi karbon nanostruktur dari berbagai dimensi (a) C_{60} Buckminsterfullerene (c) Carbon nanotube (f) graphene surface (g) 3D graphite crystal (Terrones, dkk 2010).....	5
Gambar 2.2	(a) Graphene merupakan gugus heksagonal (b) Grafit merupakan tumpukan ikatan layer-layer grapheme (Choi, dkk 2010).....	8
Gambar 2.3	(a) Gambar langsung membran graphene lapisan tunggal (b) Kontras profil sepanjang garis putus-putus pada panel (padat) bersamaan dengan profil simulasi (putus-putus).(c) menunjukkan profil eksperimental yang sama dengan kontras simulasi yang diperkecil oleh faktor 2. (d dan e) Kontras eksperimental adalah faktor 2 yang lebih kecil: Panel (C) menunjukkan profil eksperimental yang sama dengan kontras simulasi yang diperkecil oleh faktor 2. (d dan e) Langkah dari monolayer (bagian atas) ke bilayer (bagian bawah. (f) Difraktogram numerik, dihitung dari citra daerah bilayer. Puncak terluar, salah satunya ditunjukkan oleh anak panah, sesuai dengan resolusi 1,06 Å. Batang skala adalah 2 Å. .(Singh, dkk 2011).....	9
Gambar 2.4	(a) Gambar SEM dari lembar agregat reduced GO. (b) Platelet yang memiliki ketebalan batas atas pada lipatan 2 nm. (Stankovich, dkk 2007).	10
Gambar 2.5	(a-b) Gambar SEM dan TEM <i>Grafit</i> (c-d) Gambar SEM dan TEM HGO (Hummer's Method GO) (e-f) Gambar SEM dan TEM IGO (Improve Hummer's Method GO) (Alazmi, dkk 2016).....	11
Gambar 2.6	(a-b) Gambar SEM dan TEM <i>rHGO</i> N_2 reduktor (c-d) Gambar SEM dan TEM <i>rHGO</i> Hydrazine reduktor (e-f) Gambar SEM dan <i>rHGO</i> Hydrothermally reduction method	

	(Alazmi, dkk 2016).	12
Gambar 2.7	(a-b) Gambar SEM dan TEM <i>rIGO</i> N ₂ reduktor (c-d) Gambar SEM dan TEM <i>rIGO</i> Hydrazine reduktor (e-f) Gambar SEM dan <i>rIGO</i> Hydrothermally reduction method (Alazmi, dkk 2016).	13
Gambar 2.8	Kurva XRD dari <i>Grafit</i> , <i>Grafite Oksida</i> dan <i>rGO</i> dengan metode (Improved Hummer's Method dan Hummer's Method) (Alazmi, dkk 2016).	14
Gambar 2.9	Spektrum FTIR untuk <i>Graphite</i> , <i>Graphite</i> <i>Oxide</i> dan <i>rGO</i> (Alazmi, dkk 2016).	17
Gambar 2.10	Struktur Ikatan σ dan π pada Material <i>Graphene</i> (Choi, dkk., 2010).	18
Gambar 2.11	Band Gap pada <i>Graphene</i> . (Singh, et al. 2011).	19
Gambar 2.12	Alur Proses Sintesis material <i>Graphene</i> dari Grafit (Chun Kian Chua dan Martin 2013).	22
Gambar 2.13	Diagram Alir Sintesis <i>Graphene</i> (Choi, dkk 2012).	23
Gambar 2.14	Pengelupasan layer pada proses <i>Ultrasonikasi</i> (Singh, dkk 2011).	25
Gambar 2.15	Reaksi Aluminium (Al) pada reduksi <i>Graphene</i>	27
Gambar 2.16	Ragone Plot - Rapat Daya terhadap Densitas Energi (Kotz and Carlen. 2000).....	29
Gambar 2.17	Model pembentukan lapisan elektrokimia ganda (Kurzweil, et al. 2009)	31
Gambar 2.18	Skema proses charging and discharging pada EDLC (Murata co Ltd, 2013)	32
Gambar 2.19	Tipe kurva CV dari berbagai jenis superkapasitor (Stoller. 2009).....	34
Gambar 3.1	Flowchart Proses Sintesis Grafit Oksida (GO).....	41
Gambar3.2	Flowchart Proses Sintesis rGO.....	42
Gambar3.3	Flowchart Proses Pembuatan Elektroda.....	44
Gambar3.4	Flowchart Pengujian Penelitian.....	46
Gambar 3.5	Mekanisme kerja alat SEM.....	47

Gambar 3.6	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM) Jeol JSM-7001F Inspect S50</i>	48
Gambar 3.7	Metode difraksi X Rays.....	50
Gambar 3.8	Instrumen XRD PAN Alytcal.....	52
Gambar 3.9	Alat uji FTIR.....	54
Gambar 3.10	Skematik Four Point Prope.....	56
Gambar 3.11	Sel Standar 3 Elektroda.....	58
Gambar 4.1	Perbandingan hasil XRD pada sampel grafit, grafit oksida, <i>grapheme</i>	61
Gambar 4.2	Perbandingan hasil XRD pada <i>grapheme (rGO)</i> dengan variasi massa reduktor 0,3 Al ; 0,6 Al dan 0,9 Al.....	64
Gambar 4.3	Pola Spektrum Grafit Oksida dan rGO.....	66
Gambar 4.4	Pola Spektrum rGO dengan variasi massa Al 0,3 gram; 0,6 gram dan 0,9 gram.....	67
Gambar 4.5	Hasil SEM perbesaran 5.000x (a)grafit, (b)grafit oksida, (c) <i>rGO</i>	68
Gambar 4.6	Distribusi <i>Graphene</i> perbesaran 2500x.....	70
Gambar 4.7	Distribusi <i>Graphene</i> perbesaran 10.000x (a) <i>Graphene</i> dengan massa reduktor 0,3 gram Al (b) <i>Graphene</i> dengan massa reduktor 0,6 gram Al (c) <i>Graphene</i> dengan massa reduktor 0,9 gram Al.....	71
Gambar 4.8	Distribusi <i>Graphene</i> perbesaran 2500x (a) <i>Graphene</i> dengan massa reduktor 0,3 gram Al (b) <i>Graphene</i> dengan massa reduktor 0,6 gram Al (c) <i>Graphene</i> dengan massa reduktor 0,9 gram Al.....	72

Gambar 4.9	Hasil uji SEM perbesaran 200x (a) <i>Nickel Foam</i> (b) <i>Ni-rGO</i> dengan massa reduktor 0,3 gram Al (c) <i>Ni-rGO</i> dengan massa reduktor 0,6 gram Al (d) <i>Ni-rGO</i> dengan massa reduktor 0,9 gram Al.....	74
Gambar 4.10	Hasil Kurva EDS untuk rGO dengan massa reduktor 0,3 Al.....	75
Gambar 4.11	Hasil Kurva EDS untuk rGO dengan massa reduktor 0,6 Al.....	77
Gambar 4.12	Hasil Kurva EDS untuk rGO dengan massa reduktor 0,9 Al.....	78
Gambar 4.13	Grafik perbandingan konduktifitas listrik pada rGO dan variasi massa reduktor Al	
Gambar 4.14	Perbandingan hasil uji CV grafik I vs E sampel elektroda rGO dengan variasi massa reduktor Al.....	80
Gambar 4.15	Perbandingan grafik Specific Capacitance vs E sampel elektroda rGO dengan variasi massa (a) 0,3 reduktor Al (b) 0,6 reduktor Al (c) 0,9 reduktor Al.....	81
Gambar. 4.16	Nilai <i>Spesific Capacitance</i> Material rGO terhadap Penambahan Jumlah massa reduktor Al.....	83
Gambar 4.17	Pengaruh <i>Scan Rate</i> terhadap nilai <i>Spesific Capacitance</i> Material rGO dengan variasi massa reduktor Al...84	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan sifat dari material karbon.....	7
Tabel 2.2 Posisi puncak dan jarak antar muka bidang basal untuk Grafit, GO dan rangkaian produk rGO (Alazmi, dkk 2016).	15
Tabel 2.3 Perbandingan konduktivitas Graphene dari berbagai reduktor agent (Chun Kiang Chua dan Martin, 2013).	28
Tabel 2.4 Perbandingan nilai kapasitansi dari superkapasitor Graphene	35
Tabel 4.5 Komposisi unsur penyusun rGO dengan massa reduktor 0,3 Al	72
Tabel 4.6 Komposisi unsur penyusun rGO dengan massa reduktor 0,6 Al	73
Tabel 4.7 Komposisi unsur penyusun rGO dengan massa reduktor 0,9 Al	74
Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Four Point Probe pada sampel rGO dengan variasi massa reduktor Al	75
Tabel 4.9 Perbandingan hasil Spesific Capacitance Terhadap Scan Rate dan Jumlah variasi massa reduktor Al	79

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era serba digital ini, manusia tentu tidak akan lepas dari teknologi seperti barang-barang elektronik. Bergerak dari ketergantungan akan barang-barang berbasis elektronik ini, manusia, khususnya ilmuwan material diharapkan untuk mampu menghasilkan material yang kecil (nano), ringan, dan portable tetapi memiliki sifat elektronik dan mekanik yang baik untuk menunjang kemajuan teknologi tersebut. Pemilihan material akan berdampak pada isu mengenai pemanfaatan energi yang lebih efisien, mulai dari sumber energi baru, terobosan energi alternatif, sampai pengembangan media penyimpanan energi. Media penyimpan energi yang dipakai pada alat elektronik sehari-hari adalah baterai dan kapasitor. Selama ini baterai memang dianggap efektif untuk menjadi sumber daya bagi alat yang membutuhkan voltase rendah. Namun, terdapat kelemahan jika sering dipakai maka baterai akan mengalami *voltage drop*. Adanya superkapasitor yang dipasang pada baterai akan meningkatkan performa dan umur pakai baterai.

Superkapasitor merupakan teknologi baru yang dikembangkan dari kapasitor konvensional. Kapasitor ini memanfaatkan permukaan elektroda yang luas dan konduktifitas listrik yang tinggi untuk mencapai nilai kapasitansi yang jauh lebih besar daripada kapasitor konvensional. Hal ini memungkinkan superkapasitor akan memiliki rapat energi yang jauh lebih besar dibanding dengan kapasitor konvensional dan memiliki rapat daya jauh lebih besar daripada baterai. Sehingga, superkapasitor menjadi solusi yang sangat baik sebagai piranti penyimpan energi. Hal ini dikarenakan kapasitas penyimpanan muatan yang sangat besar, proses charge-discharge yang cepat dan tahan lama diantara kapasitor biasa. Keunggulan ini membuat superkapasitor telah digunakan secara luas dalam berbagai bidang khususnya bidang teknologi digital, mesin listrik dan peralatan militer dan luar angkasa. (Riyanto, 2006).

Graphene, yang mana didemonstrasikan secara eksperimental pada tahun 2004, adalah struktur dasar dari



berbagai macam material grafit yang termasuk zerodimensional fullerenes (C60), nanotube karbon satu dimensi (CNT), dan grafit tiga dimensi. *Graphene* menunjukkan konduktivitas termal yang sangat baik ($\sim 5,30 \times 10^3$ W/mK), mobilitas pembawa muatan ($\sim 2 \times 10^5$ cm² / Vs), kekuatan intrinsik (~ 130 GPa), modulus Young ($\sim 1,0$ TPa), dan luas permukaan (~ 2600 m²/g). Karena luas permukaan spesifik yang sangat tinggi, mengakibatkan proses pengisian muatan yang cepat karena luasnya permukaan aktif sebagai pengisi elektroda saat proses charging-discharging sehingga material *Graphene* dapat diaplikasikan sebagai superkapasitor (Chi-Hoon Jeon, dkk 2014).

Pada dasarnya terdapat tiga metode untuk memproduksi *graphene* : CVD, *mechanical exfoliation*, dan reduksi *graphene oxide* (GO) dari metode Hummer. Chemical reduction dari *graphene oxide* (GO), dianggap sebagai pendekatan yang efisien untuk menghasilkan lembaran *graphene* yang dapat diproses dalam skala besar, walaupun mekanisme utuhnya masih belum jelas. Baru-baru ini, zat pereduksi yang berbeda seperti hidrogen sulfida, hidrazin, natrium borohidrida, dimetilhidrazin dan hidrokuinon banyak digunakan untuk chemical reduction GO ke *graphene*. Sayangnya, zat pereduksi ini yang terlibat sangat berbahaya, dan atom oksigen yang tersisa pada *graphene* dan grup fungsional tambahan yang diperkenalkan selama chemical reduction akan menghasilkan peningkatan resistansi lembaran karena hamburan elektron. Selanjutnya, sebagian besar proses reduksi kimia memakan waktu dari 2 sampai 24 jam dan rumit. Zhangjun Fang dkk (2010), melaporkan rute yang ramah lingkungan dan efisien untuk pengurangan GO oleh bubuk aluminium dalam medium asam hanya dalam 30 menit. Selanjutnya, kemurnian produk yang tinggi dikaitkan dengan aluminium sebagai zat pereduksi, berlawanan dengan metode reduksi kimia hidrazin atau sulfonat yang secara tidak langsung memperkenalkan pengotor nonkarbon ke oksida *graphene* yang direduksi (rGO). Hasil eksperimen nya, konduktivitas bulk lembaran rGO adalah $2,1 \times 10^3$ S/m, yang hanya satu urutan besarnya lebih rendah dari pada grafit murni $3,2 \times 10^4$ S/m. Melihat aluminium (Al) yang dapat juga berfungsi sebagai reduktor ramah lingkungan dalam proses sintesis *Graphene*.

BAB I PENDAHULUAN



Sehingga dalam penelitian ini kami akan mensintesis *Graphene* dengan metode Hummer dan dengan reduktor Aluminium (Al).

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah di tuliskan, masalah yang dapat dirumuskan untuk penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi massa reduktor aluminium (Al) terhadap struktur & morfologi material *graphene* sebagai elektroda superkapasitor?
2. Bagaimana pengaruh variasi massa aluminium (Al) terhadap sifat kapasitif material *graphene* sebagai elektroda superkapasitor?

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi banyaknya parameter penelitian guna mendapatkan hasil yang sesuai dan hal yang diinginkan serta tidak menyimpang dari masalah yang telah dirumuskan, maka terdapat beberapa batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kecepatan *stirring* dianggap konstan
2. Tekanan dari *autoclave* dianggap seragam
3. Temperatur dan tekanan pada udara sekitar dianggap konstan
4. Ukuran grafit dianggap seragam
5. Impuritis pada serbuk grafit dan bahan kimia diabaikan
6. *pH* Aquades dianggap netral
7. Luas Permukaan nickel foam dianggap sama
8. Fluktuasi temperature furnace diabaikan

1.4 Tujuan Masalah

Terdapat beberapa tujuan dari penelitian tugas akhir ini yaitu :

1. Menganalisa pengaruh variasi massa reduktor aluminium (Al) terhadap struktur dan morfologi material *graphene* sebagai elektroda superkapasitor.
2. Menganalisa pengaruh variasi massa reduktor aluminium (Al) terhadap sifat kapasitif material *graphene* sebagai elektroda superkapasitor.



1.5 Manfaat Tugas Akhir

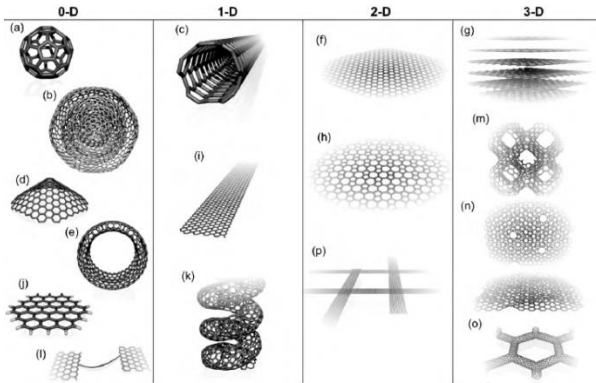
Penelitian ini memiliki manfaat untuk menghasilkan material *graphene* hasil reduksi dengan aluminium (Al) yang memiliki sifat kapasitif yang baik untuk aplikasi elektroda superkapasitor serta bermanfaat bagi penelitian-penelitian selanjutnya dalam pengembangan material berbahan *graphene*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Graphene

Graphene adalah material karbon dengan satu lapisan yang memiliki bentuk kisi heksagonal (honeycomb), dengan jarak antar karbon sekitar 1.42 Å. Ini adalah kristal dua dimensi pertama yang ada dan merupakan representasi dari keseluruhan material dengan kisi kristal dua dimensi, struktur dua dimensi ini muncul akibat mengalami hibridasi sp^2 . *Graphene* merupakan unsur struktur dasar dari alotrop karbon, meliputi grafit, tabung nano karbon, dan fullerena pada berbagai dimensi seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.1**. *Graphene* juga dapat dianggap sebagai senyawa karbon dengan ikatan aromatik yang merupakan bagian dari kelompok dengan senyawa hidrokarbon polisiklik aromatik bidang datar. (Novoselov, 2007).



Gambar 2.1 Variasi tipe sp^2 hibridisasi karbon nanostruktur dari berbagai dimensi (a) C₆₀ Buckminsterfullerene (c) Carbon nanotube (f) graphene surface (g) 3D graphite crystal (Terrones, dkk 2010)



Seperti yang dilaporkan oleh (Chi-Hoon Jeon, dkk 2014). *Graphene* menunjukkan konduktivitas termal yang sangat baik ($\sim 5,30 \times 10^3$ W/mK), mobilitas pembawa muatan ($\sim 2 \times 10^5$ cm² / Vs), kekuatan intrinsik (~ 130 GPa), modulus Young ($\sim 1,0$ TPa), dan luas permukaan (~ 2600 m²/g). *Graphene* adalah sistem yang unik dalam banyak hal. Ini benar-benar 2D, memiliki eksitasi elektronik yang tidak biasa yang dijelaskan dalam bentuk Dirac Fermions yang bergerak dalam ruang melengkung, merupakan perpaduan yang menarik dari kepadatan nol semikonduktor dari keadaan dan ketidakseimbangan logam, dan memiliki sifat materi yang lembut. Elektron dalam *graphene* tampaknya hampir tidak sensitif terhadap gangguan dan interaksi elektron-elektron dan memiliki jalur bebas yang sangat panjang. Oleh karena itu, sifat *graphene* berbeda dari logam biasa dan semikonduktor biasa. *Graphene* juga memiliki struktur yang kuat namun fleksibel dengan mode fonon yang tidak biasa tidak ada dalam padatan 3D biasa. Dalam beberapa hal, *graphene* menyatukan isu-isu dalam gravitasi kuantum dan fisika partikel, dan juga dari materi terkondensasi lembut dan keras. Yang cukup menarik, sifat ini bisa dengan mudah dimodifikasi dengan penerapan medan listrik dan magnet, penambahan lapisan, kontrol geometri, dan doping kimia. Selain itu, *graphene* bisa langsung dan relatif mudah diselidiki dengan berbagai teknik pemindaian probe dari mesoscopic sampai ke skala atom, karena tidak terkubur di dalam struktur 3D. Hal ini membuat *graphene* menjadi salah satu sistem paling serbaguna dalam penelitian bahan kental. (Neto, dkk 2009). Selain itu dalam penelitiannya Wu 2012 (**Tabel 2.1**), menunjukkan pebandingan sifat allotropic karbon. Menunjukkan bahwa *graphene* memiliki sifat-sifat elektronik yang unggul, di antara mobilitas pembawa muatan dan konduktivitas yang tinggi.



Tabel 2.1 Perbandingan sifat dari material karbon

	Grafit	Intan	Fullerene	Graphene
Hibridisasi	sp^2	sp^2	sp^2	sp^2
Sistem Kristal	Heksa	Okta	Tetra	Heksa
Dimensi	3	3	0	2
Massa Jenis ($g\ cm^{-3}$)	2.23	3.53	1.72	>1
Luas Permukaan ($m^2\ g^{-1}$)	10-20	20-160	80-90	1500
Sifat Optik	Uniaksial	Isotropik	Nonlinier	Transmitansi Optik
K. Termal ($W\ m^{-1}\ K^{-1}$)	1500-2000	900-2320	0.4	4840-5300
Kekerasan	Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi	Tertinggi
Sifat Elektronik	Konduktor	Insulator	Insulator	Semi-konduktor
K. Elektrik ($S\ cm^{-1}$)	3×10^4	-	1×10^{-10}	2000

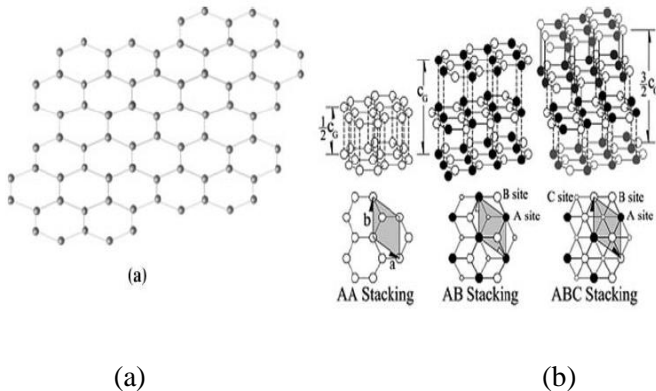
Sumber : Wu (2012)

2.1.1 Morfologi Graphene

Grafit adalah lapisan tumpukan dari banyak lembaran *graphene*, terikat oleh kekuatan van der Waals yang lemah. Jadi, pada prinsipnya, adalah mungkin untuk menghasilkan *graphene* dari



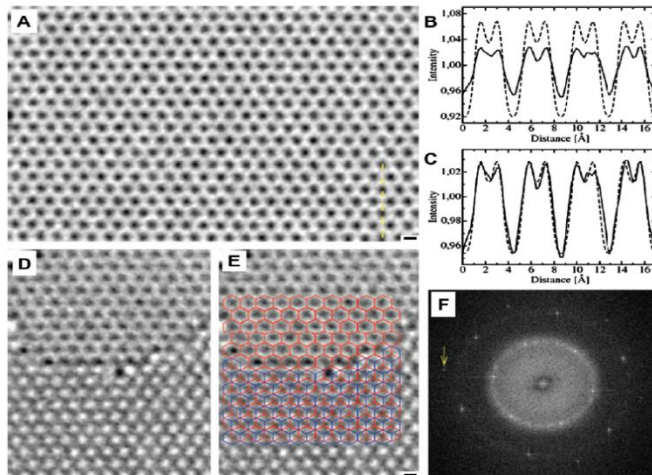
lembaran grafit kemurnian tinggi, jadi ikatan ini dapat dipecah. Pengelupasan dan pembelahan menggunakan energi mekanis atau kimia untuk memecah ikatan ini dan memisahkan lembaran graphene individual. Upaya pertama dalam arah ini adalah oleh Viculis et al., Yang telah menggunakan logam kalium untuk menyisipkan lembaran grafit murni dan kemudian mengelupaskannya dengan etanol untuk membentuk dispersi lembaran karbon. Selama sonikasi, lembaran nano-karbon dikelupas membentuk nanoscrolls. (Choi, dkk 2010)



Gambar 2.2 (a) Graphene merupakan gugus heksagonal (b) Grafit merupakan tumpukan ikatan layer-layer grapheme (Choi, dkk 2010).

Graphene dan *Reduced Graphene Oxide* (RGO) adalah lapisan tebal atom, nampaknya TEM adalah satu-satunya alat yang dapat mengatasi fitur atom graphene. Namun, penggunaan TEM tradisional dibatasi oleh resolusi pada tegangan operasi rendah, sedangkan operasi pada tegangan tinggi merusak monolayer. Baru-baru ini, beberapa penelitian telah menggunakan kelas baru TEM yang merupakan penyimpangan yang dikoreksi dalam kombinasi dengan monokromator yang dapat memberikan resolusi 1\AA pada tegangan akselerasi hanya 80 kV. Untuk

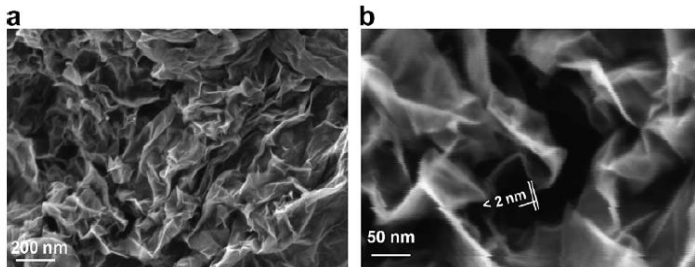
pertama kalinya kelompok Mayer telah menunjukkan gambar beresolusi tinggi langsung dari kisi graphene yang menggambarkan setiap atom karbon tunggal yang disusun secara heksagonal. Ini jelas menunjukkan model bola-dan-tongkat di mana kontras terang dan gelap pada gambar sesuai dengan atom dan celah masing-masing ditunjukkan pada **Gambar 2.3**. Periset juga telah menunjukkan bahwa ketidaksempurnaan dan kekhasan topologi graphene mempengaruhi sifat elektronik dan mekanik, yang dapat ditentukan dengan menggunakan penyimpangan yang dikoreksi dengan TEM tegangan rendah. (Singh, dkk 2011)



Gambar 2.3 (a) Gambar langsung membran graphene lapisan tunggal (b) Kontras profil sepanjang garis putus-putus pada panel (padat) bersamaan dengan profil simulasi (putus-putus). (c) menunjukkan profil eksperimental yang sama dengan kontras simulasi yang diperkecil oleh faktor 2. (d dan e) Kontras eksperimental adalah faktor 2 yang lebih kecil: Panel (C) menunjukkan profil eksperimental yang sama dengan kontras simulasi yang diperkecil oleh faktor 2. (d dan e) Langkah dari monolayer (bagian atas) ke bilayer (bagian bawah). (f) Difraktogram numerik, dihitung dari citra daerah bilayer. Puncak terluar, salah satunya ditunjukkan oleh anak panah, sesuai dengan resolusi 1,06 Å. Batang skala adalah 2 Å. (Singh, dkk 2011).



Selain menggunakan TEM morfologi *graphene* dapat dilihat dengan uji SEM. Gambar SEM menunjukkan bahwa bahan *reduced GO* (rGO) terdiri dari lembaran acak, tipis, kusut yang saling terkait satu sama lain dan membentuk padatan tidak teratur (**Gambar 2.4 a**). Daerah dilipat dari lembaran (**Gambar 2.4 b**) ditemukan memiliki lebar rata-rata 2 nm dengan SEM resolusi tinggi (Stankovich, dkk 2007).

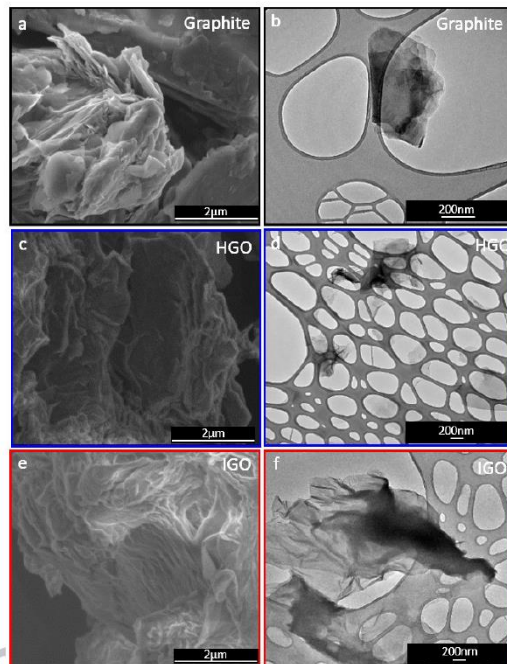


Gambar 2.4 (a) Gambar SEM dari lembar agregat reduced GO. (b) Platelet yang memiliki ketebalan batas atas pada lipatan 2 nm. (Stankovich, dkk 2007).

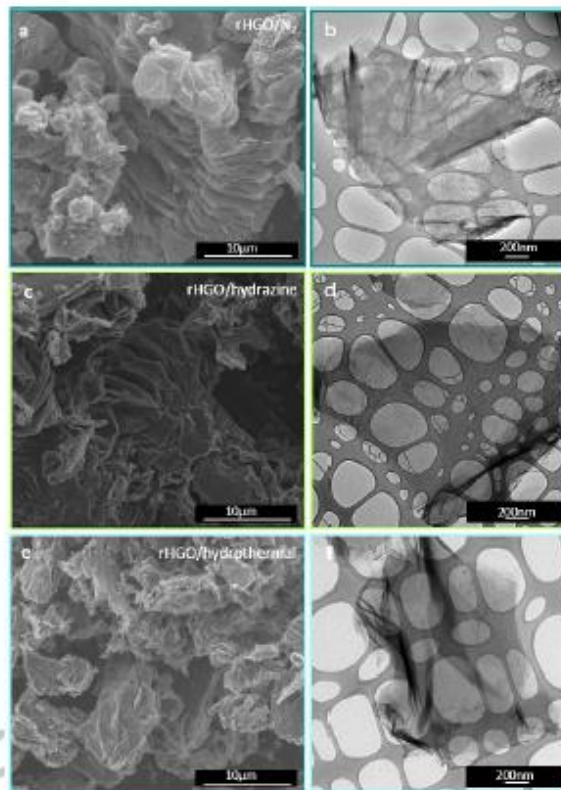
Morfologi agregat dan serpihan individu yang berasal dari grafit induk dan rekan teroksidasinya ditunjukkan pada **Gambar 2.5**. Salah satu perbedaan mencolok pada agregat adalah kecenderungan grafit untuk menunjukkan tumpukan kompak dengan tepi bergerigi yang terdefinisi dengan baik. Kontrasnya, bahan teroksidasi menunjukkan aglomerat keriput dimana susunan berlapis lebih terlihat karena perluasan tumpukan zona basal. Khusus untuk produk IGO (Improve Hummer's Method GO), pengisian sering diamati selama pencitraan SEM yang mengarah ke karakter isolasi elektrik. Sedangkan agregat grafit awal rata-rata $< 50 \mu\text{m}$ (sesuai dengan vendor komersial), setelah tahap oksidasi dipecah menjadi partikel yang lebih kecil. Pada tingkat serpihan diskrit, morfologi bergelombang dari produk HGO (Hummer's Method GO) dan IGO dikonfirmasi. Selain itu, relatif mudah untuk menemukan area yang luas dengan transparansi TEM yang tinggi (Alazmi, dkk 2016).

Setelah direduksi, semua produk menunjukkan morfologi

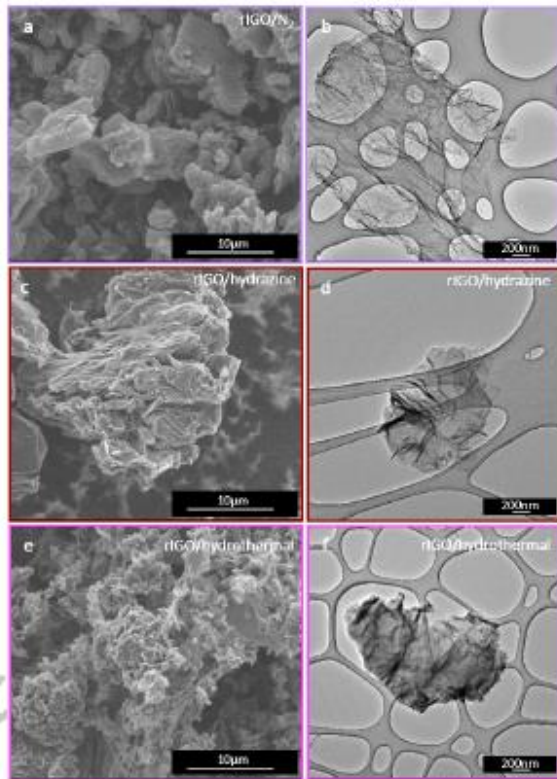
serupa, baik pada tingkat serapan agregat dan individu (**Gambar 2.6** dan **2.7**). Pengaturan berlapis dipertahankan dan terlihat jelas di SEM untuk rangkaian turunan graphene yang diturunkan dari HGO dan IGO. Agregat umumnya berukuran lebih kecil ($<10\ \mu\text{m}$) dibandingkan dengan rekan teroksidasi mereka. Selanjutnya, serpihan individu selalu transparan ke berkas elektron dalam TEM resolusi menengah. Hal ini menunjukkan bahwa serpihan rGO tersebar secara signifikan lebih tipis daripada grafit awal dan grafit yang dioksidasi. Secara keseluruhan, metodologi reduksi oksidasi yang digunakan sangat mempengaruhi bagaimana serpihan dan agregat rGO akhir terlihat seperti di bawah mikroskop elektron (EM) pada perbesaran rendah / sedang. (Alazmi, dkk 2016).



Gambar 2.5 (a-b) Gambar SEM dan TEM *Grafit* (c-d) Gambar SEM dan TEM HGO (Hummer's Method GO) (e-f) Gambar SEM dan TEM IGO (Improve Hummer's Method GO) (Alazmi, dkk 2016).

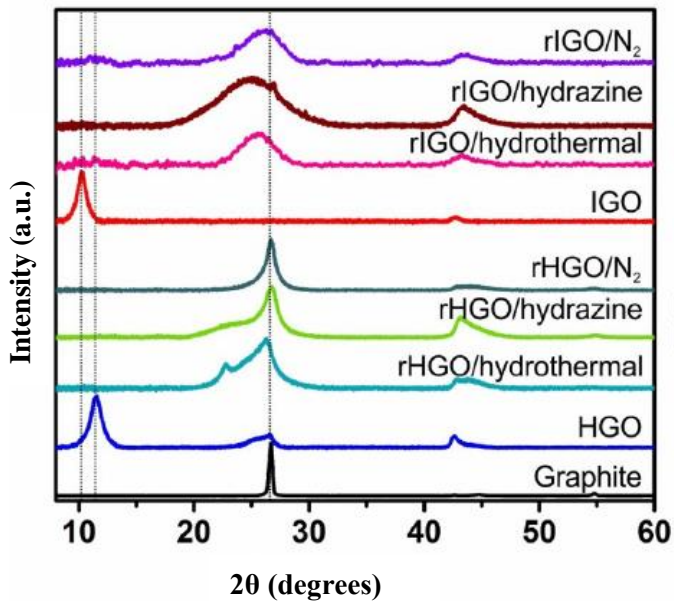


Gambar 2.6 (a-b) Gambar SEM dan TEM *rHGO* N_2 reduktor (c-d) Gambar SEM dan TEM *rHGO* Hydrazine reduktor (e-f) Gambar SEM dan *rHGO* Hydrothermally reduction method (Alazmi, dkk 2016).



Gambar 2.7 (a-b) Gambar SEM dan TEM *rIGO* N_2 reduktor (c-d) Gambar SEM dan TEM *rIGO* Hydrazine reduktor (e-f) Gambar SEM dan *rIGO* Hydrothermally reduction method (Alazmi, dkk 2016).

Selain morfologi, struktur dan gugus yang terdapat pada *Grafit*, *Grafit Oksida* dan *Graphene* dapat diketahui dengan uji XRD dan FTIR, pada XRD (*X-Ray Diffraction*) perbedaan antara *Grafit*, *Grafit Oksida* dan *Graphene* ditunjukkan pada **Gambar 2.8**



Gambar 2.8 Kurva XRD dari *Grafrit* , *Grafite Oksida* dan *rGO* dengan metode (Improved Hummer's Method dan Hummer's Method) (Alazmi, dkk 2016).

Peak pada **Gambar 2.8** dan Jarak interlayer (d) dari bidang basal grafit dihitung dari (002) refleksi dari grafit, atau yang setara dalam kasus produk GO dan rGOs di jelaskan pada **Tabel 2.2**



Tabel 2.2 Posisi puncak dan jarak antar muka bidang basal untuk Grafit, GO dan rangkaian produk rGO (Alazmi, dkk 2016).

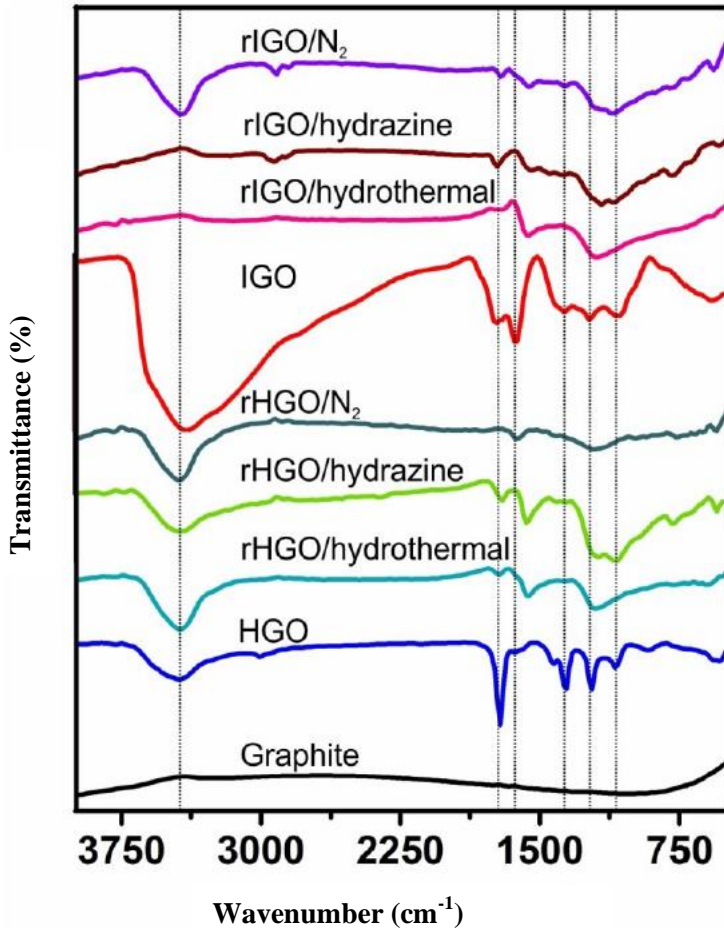
Sample	Peak position (degree)	Interlayer spacing (Å)
G	26.7	3.3
HGO	11.5	7.7
rHGO/Hydrothermal	26.2	3.9
rHGO/Hydrazine	26.7	3.3
rHGO/N ₂	26.7	3.3
IGO	10.2	8.6
rIGO/Hydrothermal	25.6	3.4
rIGO/Hydrazine	25.1	3.5
rIGO/N ₂	26.1	3.4

Jarak interlayer (d) dari bidang basal grafit dihitung dari (002) refleksi grafit, atau yang setara dalam kasus produk GO dan rGO (Tabel 2.2). Bubuk grafit awal menunjukkan karakteristik (002) refleksi pada $2\theta = 26,7^\circ$, yang setara dengan $3,3 \text{ \AA}$. Dalam kasus HGO, intensitas puncak ekuivalen berkurang secara drastis dengan refleksi dominan yang ada sekarang pada $2\theta = 11,5^\circ$. Seperti pada studi sebelumnya, ini diidentifikasi sebagai bidang basal GO yang diperluas. Demikian pula, spektrum produk IGO berisi puncak ini namun bergeser ke sudut yang lebih rendah ($2\theta = 10,2^\circ$). (Tiannan Zhou, Dkk 2011) menjelaskan bahwa pada puncak *rGO* mengalami distribusi yang jauh lebih luas dan intensitas yang berkurang, menunjukkan bahwa lembaran rGO dikelupas menjadi monolayer atau beberapa lapisan. Morfologi semacam itu berbeda secara signifikan dari grafit murni. Pola difraksi *reduced graphene oxide (rGO)*, menandakan ciri material dengan struktur kristal amorf, dengan puncak yang tidak tajam. Puncak difraksi dari *reduced graphene oxide(rGO)* dimulai pada sekitar sudut $2\theta = 16^\circ\text{-}28^\circ$ (Nasrullah, 2014).

Jenis ikatan atau gugus yang terdapat pada *Graphene* dapat diketahui dari spectrum FTIR (*Fourir Transform Infra Red*). Pada Gambar 2.9 dapat dibedakan spektrum antara grafit oksida



(GO), *Reduced Graphene Oxide* (rGO). Dapat dijelaskan pada **Gambar 2.9** spektrum grafit awal tidak menunjukkan sidik jari band yang relevan. Hal ini sangat kontras dengan produk yang teroksidasi karena spektrum untuk HGO dan IGO menunjukkan beberapa puncak karakteristik yang kuat. Yang pertama untuk dipertimbangkan adalah puncak luas antara 3200 cm^{-1} dan 3700 cm^{-1} yang secara teratur dihubungkan dengan adanya gugus hidroksil. Keunggulan puncak ini sangat besar pada spektrum IGO yang memperkuat pandangan kandungan air interkalasi yang lebih tinggi dan oksidasi yang lebih luas. Pada 1723 cm^{-1} dan 1690 cm^{-1} puncak dapat diberikan pada getaran peregangan $\text{C}=\text{O}$, termasuk dalam gugus karboksil atau karbonil. Lebih banyak puncak dapat diidentifikasi di wilayah $1400\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$, termasuk deformasi O-H pada kelompok C-OH (pada 1387 cm^{-1}), getaran peregangan C-OH (pada 1224 cm^{-1}) dan C-O getaran peregangan pada epoksida C-O-C (pada 1.062 cm^{-1}). Di sini, puncak IGO kurang terdefinisi mungkin karena kepadatan cacat yang lebih tinggi dan jumlah kelompok berbeda yang terkait lebih tinggi. Setelah langkah reduksi, semua pita absorpsi karakteristik dari gugus yang mengandung oksigen (misalnya O-H, $\text{C}=\text{O}$ dan C-O) secara substansial melemah dan, dalam kasus sampel yang diolah secara termal, hampir dieliminasi. Dari catatan, kami tidak mendeteksi pita terkait C-N setelah langkah pengurangan hidrazin. Demikian juga, perlakuan hidrotermal tampaknya menghasilkan spektrum serupa di bawah 2000 cm^{-1} dengan puncak yang luas pada 1569 cm^{-1} dan 1224 cm^{-1} . Secara keseluruhan, FTIR mengidentifikasi kelompok fungsional serupa yang hadir dalam GO dan rGO yang berbeda. Dengan ini dikukuhkan bahwa identitas kimia dari bahan curah nampaknya identik.



Gambar 2.9 Spektrum FTIR untuk *Graphite*, *Graphite Oxide* dan *rGO* (Alazmi, dkk 2016).

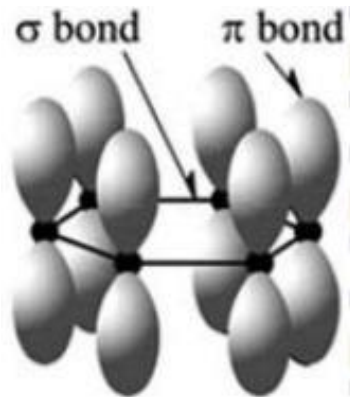
2.1.2 Sifat listrik *Graphene*

Tiap atom karbon dalam *graphene* mempunyai satu orbital s dan dua orbital p (**Gambar 2.10**). Satu orbital s dan dua orbital p digunakan untuk membentuk ikatan kovalen yang kuat sedangkan satu elektron bebas yang berada pada subkulit p membentuk orbital phi (π) yang tegak lurus dengan lembaran *graphene* yang



akhirnya akan menentukan sifat-sifat elektrik dari *graphene*. (Stolyarova, 2007).

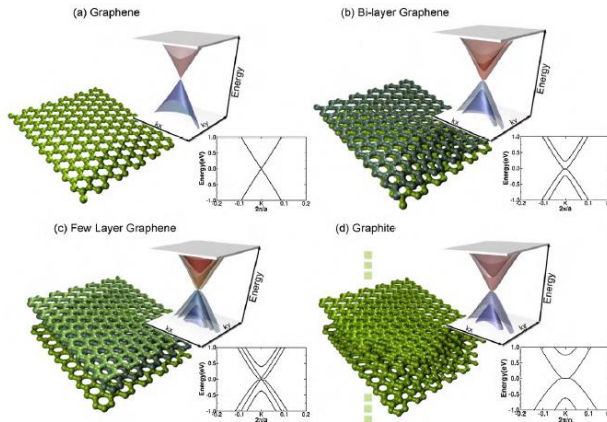
Graphene murni yang merupakan sebuah kisi karbon heksagonal dua dimensi adalah sebuah material konduktor dengan sifat *zero bandgap*. *Zero bandgap* ini mengakibatkan massa efektif elektron dan lubang heksagonalnya bernilai nol. (Charlier, dkk. 2008). Hibridisasi sp^2 atom karbon tersusun dalam bentuk heksagonal dalam lapisan dua dimensi. Satu cincin heksagonal terdiri dari tiga ikatan *in-plane* sigma orbital p_z yang tegak lurus terhadap bidang heksagonal. Semakin bertambahnya lapisan *graphene* maka nilai *bandgap* semakin besar seperti yang di tunjukan pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.10 Struktur Ikatan σ dan π pada Material *Graphene*(Choi, dkk., 2010).

Kurva dispersi energi *graphene* tidak memiliki energi gap, dan kedua pitanya tidak saling berimpit. Disekitar energi fermi, kurva dispersinya berbentuk linier. Bentuk pita demikian membuat *graphene* bersifat semimetal dan sangat konduktif. Namun tidak adanya celah energi pada *graphene* membuatnya menjadi memiliki keterbatasan dalam aplikasi teknologi transistor. Karena pita energi memiliki peran penting dalam aplikasi teknologi modern, maka eksplorasi terhadap sifat struktur pitanya telah banyak dilakukan dengan memberikan atom atau molekul tambahan untuk memecah pita energinya sehingga diperoleh

graphene yang bersifat semikonduktor. Dengan pemilihan molekul yang tepat dapat menjadikan *graphene* bersifat semikonduktor tipe-p atau tipe-n, sehingga potensial dalam proses pabrikasi transistor yang berukuran lebih kecil. (Geim, A. 2007)



Gambar 2.11 Band Gap pada *Graphene*. (Singh, et al. 2011).

Sebagai konduktor dengan *zero bandgap*, *graphene* menunjukkan sebuah efek medan listrik *ambipolar* dan pembawa muatan yang dapat diatur terus-menerus antara elektron dan *holes* dalam konsentrasi setinggi 10^{13} cm^{-2} , dengan mobilitas elektron di temperatur ruang hingga $15.000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$. (Zhou, et al. 2009)

Graphene memiliki luas permukaan sebesar $2630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ dapat membentuk lapisan-lapisan dan menghasilkan ruang-ruang yang dapat menyimpan energi sehingga bisa digunakan sebagai superkapasitor. Superkapasitor dari *graphene* ini mempunyai rapat massa yang tinggi dibandingkan dengan kapasitor-kapasitor dielektrik konvensional. Selain itu superkapasitor dari *graphene* memiliki range yang besar dalam menangkap energi dan menyimpan energi.

2.2 Sintesis Graphene

2.2.1 Thermal Chemical Vapor Deposition (Thermal CVD)

CVD nampaknya merupakan teknik yang paling



menjanjikan untuk memproduksi film graphene mono atau lapisan tipis skala besar. Meskipun pembentukan " grafit monolayer " disebutkan dalam studi CVD awal pada kristal tunggal logam. Sintesis pertama yang berhasil dari beberapa lapisan film graphene yang menggunakan CVD dilaporkan pada tahun (2006) oleh Somani dkk yang menggunakan kapur barus sebagai pelopor pada Ni foil. Studi ini membuka rute sintesis graphene baru dengan beberapa masalah yang belum terpecahkan seperti mengendalikan jumlah lapisan, dan meminimalkan lipatan graphene. Sejak itu, banyak kemajuan telah dicapai untuk mendapatkan lapisan graphene pada beberapa jenis substrat logam dengan ketebalan yang dikontrol. Setelah etsa kimia dari substrat logam, lapisan graphene terlepas dan dapat dipindahkan ke substrat lain, memberikan lapisan graphene berkualitas tinggi tanpa perawatan mekanik atau kimia yang rumit. Mekanisme pertumbuhan graphene pada substrat dengan kelarutan karbon menengah-tinggi ($> 0,1\%$ atomik) seperti Co dan Ni adalah melalui difusi karbon ke film tipis logam pada suhu pertumbuhan dan curah hujan berikutnya dari bulk logam ke permukaan logam pada pendinginan. Proses CVD khas (yaitu menggunakan Ni sebagai substrat) melibatkan pelarutan karbon ke substrat nikel yang diikuti oleh presipitasi karbon pada substrat dengan mendinginkan nikel. Substrat Ni ditempatkan di ruang CVD pada ruang hampa 10^{-3} Torr dan suhu di bawah 1000°C dengan gas hidrokarbon encer. Proses deposisi dimulai dengan penggabungan sejumlah terbatas atom karbon ke dalam substrat Ni pada suhu yang relatif rendah, serupa dengan proses karburisasi. Pendinginan cepat berikutnya dari substrat menyebabkan atom karbon yang bergabung keluar-menyebarkan ke permukaan substrat Ni dan membentuk lapisan graphene. Oleh karena itu, ketebalan dan pemesanan kristal karbon yang diendapkan (lapisan graphene) dikendalikan oleh laju pendinginan dan konsentrasi karbon yang dilarutkan dalam nikel yang ditentukan oleh jenis dan konsentrasi gas karbon di CVD, dan ketebalannya. Lapisan nikel Sebaliknya, pertumbuhan graphene pada kelarutan rendah karbon ($<0,001\%$ atom) substrat seperti Cu terutama terjadi di permukaan melalui proses empat langkah yang dijelaskan oleh Li dan rekan kerja sebagai berikut:

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



1. Dekomposisi katalitik metana pada Cu untuk membentuk C_xH_y pada paparan Cu terhadap metana dan hidrogen. Dalam proses ini, permukaan Cu tidak jenuh, jenuh, atau jenuh dengan spesies C_xH_y , tergantung pada suhu, tekanan metana, aliran metana, dan tekanan parsial hidrogen.
2. Pembentukan nukleus sebagai akibat dari supersaturasi lokal C_xH_y dimana permukaan Cu yang tidak jenuh tidak membentuk nuklir.
3. Nuclei tumbuh membentuk pulau graphene pada permukaan Cu jenuh, atau jenuh dengan spesies C_xH_y .
4. Cakupan permukaan Cu penuh dengan graphene pada suhu tertentu (T), laju alir metana (JMe), dan tekanan parsial metana (PMe).

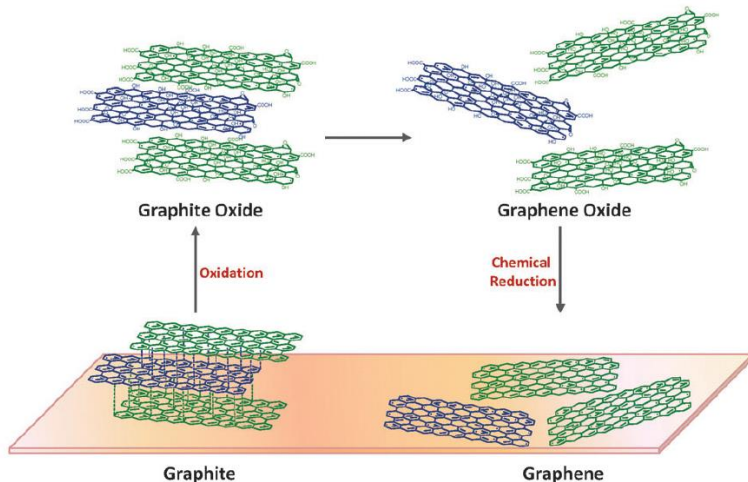
Jika jumlah C_xH_y yang tersedia pada permukaan Cu yang terpapar tidak cukup untuk memperluas tepi C ke pulau, permukaan Cu hanya sebagian ditutupi dengan pulau graphene. Jika tidak, jika selalu ada cukup metana untuk membentuk C_xH_y yang cukup untuk mendorong reaksi antara C_xH_y di permukaan dan tepi pulau graphene, pulau graphene akan tumbuh sampai menghubungkan pulau-pulau tetangga dan sepenuhnya menutupi permukaan Cu. Dengan pemahaman mekanisme pertumbuhan graphene, berbagai pendekatan diterapkan untuk mengendalikan laju pertumbuhan graphene untuk mendapatkan graphene monolayer. (Singh, dkk 2011).

2.2.2 Chemical Reduction

Adapun cara lain untuk melakukan sintesis *graphene* adalah menggunakan metode sintesis secara kimia melalui sintesis grafit oksida (GO) terlebih dahulu kemudian ikatan oksida pada GO direduksi dengan menggunakan suatu senyawa kimia agen pereduksi. Sintesis GO secara kimia menggunakan bubuk grafit yang dioksidasi dengan asam kuat disebut dengan metode Hummer. Metode ini dikenal dengan cara kotor untuk memperoleh *graphene*, karena hasil sintesisnya masih mengandung atom-atom pengotor yang berikatan pada struktur karbon penyusun *graphene*. (Hummer. 1959)



Sebelum melakukan reduksi grafit oksida, maka grafit oksida harus diproduksi melalui proses oksidasi grafit. Alur proses pembuatan graphene dari grafit ditunjukkan pada **Gambar 2.12** dan **Gambar 2.13**. Kelebihan mensintesis *graphene* dengan model ini, adalah *graphene* yang diperoleh bisa dalam jumlah yang banyak. Selain itu, peralatan yang digunakan tergolong mudah dan tidak terlalu susah dalam aplikasinya. Sedangkan kekurangan dari metode ini, adalah *graphene* yang dihasilkan cenderung mempunyai tingkat *defect* atau cacat yang tinggi, karena permukaan *graphene* berkali-kali bersentuhan langsung dengan senyawa kimia baik itu oksidator maupun reduktor, sehingga terdapat banyak *impurities* dan struktur yang tidak sempurna pada permukaan *graphene*.

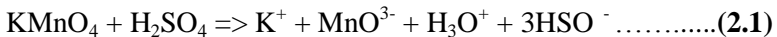


Gambar 2.12 Alur Proses Sintesis material *Graphene* dari Grafit (Chun Kian Chua dan Martin 2013).



Gambar 2.13 Diagram Alir Sintesis *Graphene* (Choi, dkk 2012).

Proses oksidasi grafit menjadi grafit oksida dilakukan dengan menggunakan metode *Hummer*. Metode Hummer menggunakan larutan NaNO_3 , H_2SO_4 , KMnO_4 , dan H_2O_2 . Produk oksidasi kemudian dimurnikan dengan pencucian 5% HCl , dan dilanjutkan dengan pencucian aquades (Tien. 2012). Mn_2O_7 merupakan oksidan (dihydroxylations) dari permanganate. Terbentuk larutan berwarna ungu dari hasil reaksi KMnO_4 dengan H_2SO_4 . Aktivasi ion MnO^- yang sangat *reaktif* hanya terjadi pada kondisi asam sesuai **persamaan 2.1** dan **persamaan 2.2**.



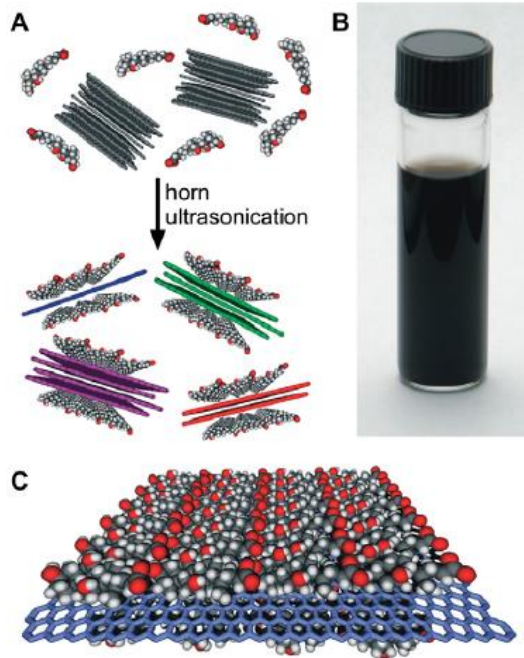
Grafit dicampurkan dengan H_2SO_4 pada temperatur 0°C . Kemudian di-*stirring* dengan penambahan KMnO_4 secara bertahap. Proses *stirring* harus dijaga pada temperatur dibawah 35°C selama 24 jam. Proses berikutnya adalah penambahan aquades pada campuran. Karena penambahan aquades pada H_2SO_4 akan melepaskan sejumlah panas, maka temperaturnya harus dikontrol kurang dari 100°C . 30% H_2O_2 harus ditambahkan dalam campuran untuk mereduksi sisa KMnO_4 . Ketika hidrogen peroksida ditambahkan maka terbentuk gelembung-gelembung dan warna larutan berubah menjadi kuning cerah. Selanjutnya untuk menghilangkan ion-ion dari aquades maka campuran harus dicuci dengan mengguakan HCl 5%. Produk campuran kemudian dikeringkan pada temperatur 120°C selama 12 jam (Wu, et al. 2015). Namun, produk Hummer biasanya adalah bagian intinya



berupa grafit sedangkan bagian luarnya adalah oksida grafit (GO). Untuk mengatasi hal ini, maka perlu dilakukan perlakuan sebelum melakukan proses Hummer untuk meningkatkan derajat oksidasi. Metode pra-oksidasi ini pertama kali diperkenalkan oleh Kovtukhova (1999), Grafit dicampurkan dengan H_2SO_4 , $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ dan P_2O_5 dijaga pada temperatur 80 °C selama 6 jam. Hasil campuran kemudian dicuci dengan air dan dikeringkan. Selain dengan Pra-oksidasi, untuk menghasilkan produk GO yang sempurna metode Hummer juga dapat dimodifikasi dengan menambah jumlah potassium permanganat.

2.2.2.1 Ultrasonikasi

Grafit oksida memiliki struktur yang berlapis yang sama seperti grafit, namun bidang dari atom karbon pada grafit oksida dihiasi oleh kelompok gugus oksigen, yang tidak hanya memperlebar jarak antar lapisan tetapi juga membuat lapisan atom hidrofilik. Maka lapisan teroksidasi ini dapat diperlebar jarak antar layer-nya dengan proses ultrasonikasi menghasilkan *graphene oxide*. *Graphene oxide* ini yang akan direduksi menjadi *graphene* dengan menghilangkan gugus fungsi oksigen dan memperbaiki strukturnya. Untuk memperbaiki cacat struktural dapat menggunakan dua metode, yaitu grafitisasi pada temperatur tinggi dan epitaxial growth; atau CVD pada daerah cacat dengan penambahan suplai karbon (Pei dan Cheng, 2012). Ultrasonikasi / sonikasi merupakan langkah penting yang menyediakan energi untuk mengelupaskan lembaran *graphene* dari grafit oksida. Cara alternatif untuk mengelupaskan lembaran *graphene* adalah dengan memanaskan larutan yang mengandung grafit, tetapi cara ini tidak efektif dibandingkan dengan proses ultrasonikasi. Pada umumnya terdapat dua cara untuk mengaplikasikan ultrasonikasi pada larutan yang mengandung grafit yaitu sonication bath dan tip sonication. Pada sonication bath, daya ultrasonikasi yang ditransfer menuju tabung yang diisi pelarut dan grafit akan dipengaruhi oleh berapa banyak air yang ditempatkan pada wadahnya, apakah tabung menyentuh dasar wadah, dan lokasi tabung dalam wadah. Untuk hasil yang lebih baik, disarankan untuk menjaga tiga parameter dengan konsisten. (Warner, et al. 2006)



Gambar 2.14 Pengelupasan layer pada proses *Ultrasonikasi* (Singh, dkk 2011).

2.2.2.1 Hydrothermal

Prinsip dasar dari proses hydrothermal adalah menghasilkan temperatur dan tekanan tinggi untuk melarutkan dan merekristalisasi material yang tidak bisa berlangsung pada kondisi normal. Untuk melakukan proses hidrotermal, diperlukan autoclave sebagai wadah sampel. Hal yang dapat dicapai dengan proses hidrotermal antara lain sintesis fasa baru atau stabilisasi dari kompleksitas baru; pertumbuhan kristal dari beberapa senyawa kimia; preparasi dari proses penghalusan material dan mikrokatalisis dengan ukuran dan morfologi yang presisi untuk aplikasi tertentu; pencucian bijih dalam ekstraksi logam; dan dekomposisi, alterasi, korosi, dan etsa. Byrappa (2001). Dalam penelitiannya, Zhou, dkk (2009) menyatakan bahwa dengan metode hidrotermal yang mudah, bersih, dan terkontrol dapat



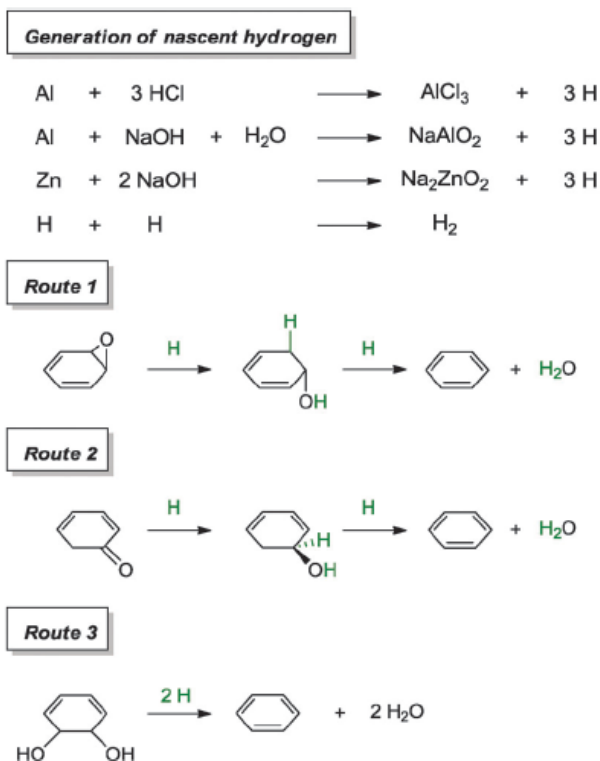
mengubah *graphene oxide* menjadi larutan *graphene* yang stabil. Supercritical water (SC) yang digunakan dalam proses hidrotermal dapat menjadi agen reduktor yang baik dan menjadi alternatif pelarut organik dalam kimia ramah lingkungan. Dalam proses hidrotermal, SC mampu mereduksi gugus fungsi oksigen dari grafit oksida dan memperbaiki struktur aromatikanya. Gugus fungsi oksigen akan larut dalam SC karena tekanan dan juga temperatur yang ada saat proses *hydrothermal* hal ini membuat pelebaran dan melemahnya ikatan gugus oksigen dengan *layer graphene oxide*. Keunggulan proses hidrotermal dikemukakan oleh Ha, Muralidharan, dan Kim (2009) yaitu proses sintesis mudah, pengontrolan bentuk dan ukuran serbuk, temperatur operasi yang rendah, homogenisasi tinggi, dan biaya operasional rendah.

2.3 Reduktor Aluminium

Senyawa-senyawa yang memiliki kemampuan untuk mereduksi senyawa lain dikatakan sebagai reduktif dan dikenal sebagai *reduktor* atau *agen reduksi*. Reduktor melepaskan elektronnya ke senyawa lain, sehingga ia sendiri teroksidasi. Oleh karena ia “mendonorkan” elektronnya, ia juga disebut sebagai penderma elektron. Senyawa-senyawa yang berupa reduktor sangat bervariasi. Unsur-unsur logam seperti Li, Na, Mg, Fe, Zn, dan Al dapat digunakan sebagai reduktor. Logam-logam ini akan memberikan elektronnya dengan mudah. Salah satu unsur pereduksi kuat adalah Aluminium. Aluminium adalah logam yang sangat reaktif yang membentuk ikatan kimia berenergi tinggi dengan oksigen. Baru-baru ini, zat pereduksi yang berbeda seperti hidrogen sulfida, hidrazin, natrium borohidrida, dimetilhidrazin dan hidrokuinon banyak digunakan untuk chemical reduction GO ke graphene. Sayangnya, zat pereduksi ini yang terlibat sangat berbahaya, dan atom oksigen yang tersisa pada graphene dan grup fungsional tambahan yang diperkenalkan selama chemical reduction akan menghasilkan peningkatan resistansi lembaran karena hamburan elektron. Selanjutnya, sebagian besar proses reduksi kimia memakan waktu dari 2 sampai 24 jam dan rumit. Zhuangjun Fan, dkk (2010), melaporkan rute yang ramah lingkungan dan efisien untuk



pengurangan GO oleh bubuk aluminium dalam medium asam hanya dalam 30 menit. Selanjutnya, kemurnian produk yang tinggi dikaitkan dengan aluminium sebagai zat pereduksi, berlawanan dengan metode reduksi kimia hidrazin atau sulfonat yang secara tidak langsung memperkenalkan pengotor nonkarbon ke oksida graphene yang direduksi (rGO). Hasil eksperimen nya, konduktivitas bulk lembaran rGO adalah $2,1 \times 10^3$ S/m, yang hanya satu urutan besarnya lebih rendah dari pada grafit murni $3,2 \times 10^4$ S/m. Melihat Aluminium (Al) yang dapat juga berfungsi sebagai reduktor ramah lingkungan dalam proses sintesis *Graphene*. Reaksi reduksi pada sintesis *grapheme* ditunjukkan pada **Gambar 2.15**



Gambar 2.15 Reaksi Aluminium (Al) pada reduksi *Graphene*



Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan campuran logam dan asam untuk tujuan pereduksi telah mendapat banyak perhatian dari komunitas graphene. Kemampuan reduksi yang sangat cepat dan efisien dari campuran ini adalah beberapa alasan mengapa banyak eksperimental graphene menjelajahi kelas ini dari agen pereduksi. Meski begitu, mekanisme umum tetap tidak jelas. Dua mode mekanisme ada pada saat ini, yang menurutnya pengurangan dicapai melalui (i) transfer elektron cepat antara logam dan oksida graphene, dan (ii) evolusi hidrogen yang baru lahir sebagai zat pereduksi aktif. Bagian paling awal dari pekerjaan berdasarkan konsep pertama dilaporkan oleh Fan dan rekan kerja, yang mencapai pengurangan oksida graphene dengan menggunakan campuran serbuk aluminium (10 mm) dan asam klorida dalam 30 menit. Graphene yang diperoleh memberikan C / O rasio 18,6 dan konduktivitas terukur 2100 S/m . Bubuk aluminium dipilih karena potensi reduksi aluminium standar jauh lebih negatif daripada natrium borohidrida dan hidrazin, yang masing-masing berkisar -1,68, -1,24 dan -1,16 V. Dan dari beberapa percobaan didapatkan data yang di tunjukkan pada **tabel 2.3** bahwa sintesis *Graphene* dengan Aluminium (Al) sebagai reduktor agen didapatkan konduktivitas 2100 S/m, dengan Zinc (Zn) sebagai reduktor agen didapatkan konduktivitas 650 S/m, dan dengan Ferous (Fe) sebagai reduktor agen didapatkan konduktivitas 2300 S/m dan ketiganya pada larutan asam HCl (Chun Kiang Chua dan Martin, 2013).

Tabel 2.3 Perbandingan konduktivitas Graphene dari berbagai reduktor agent (Chun Kiang Chua dan Martin, 2013).

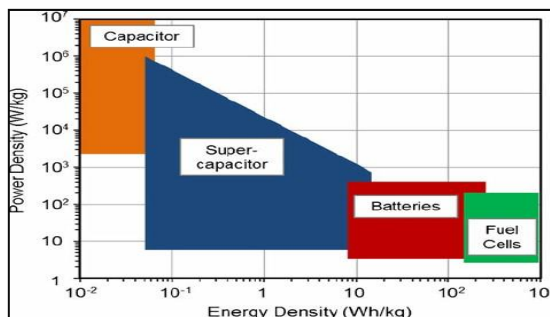
Metal-Acid	Conductivity (S/m)	C/O ratio	Doping	Condition
Al/HCl	2100	18.6	-	Room Temperature, 30 min
Fe/HCl	2300	7.9	Fe Dooped	Room Temperature, 6 hour



Zn/HCl	650	8.2	-	Room Temperature, 30 min
--------	-----	-----	---	--------------------------

2.4 Superkapasitor

Superkapasitor adalah piranti elektrokimia yang dapat menyimpan energi dan melepaskannya kembali dengan kekuatan daya yang tinggi dan densitas arus yang tinggi selama selang waktu yang pendek. Sehingga, kapasitor sangat diunggulkan sebagai pengganti untuk baterai dan fuel cell pada berbagai variasi aplikasi, misalnya mobil dan piranti elektronik portable. Prinsip penyimpanan energi pada superkapasitor adalah akumulasi dari muatan elektrostatis pada elektroda- interface elektrolit atau transfer dari muatan ke dalam lapisan molekul yang mengalami reaksi redoks pada bagian permukaan dari elektroda (pseudokapasitor). Kapasitor konvensional memiliki kerapatan daya yang relatif tinggi, namun relatif rendah kepadatan energi bila dibandingkan dengan baterai elektrokimia dan baterai. Baterai dapat menyimpan lebih banyak energi dibanding kapasitor, tetapi tidak dapat dilakukan pengisian (pengisian) secara cepat, yang berarti bahwa kerapatan daya rendah. Disisi lain, kapasitor menyimpan energi per satuan massa atau volume relatif lebih kecil, tapi energi listrik dapat disimpan dengan cepat untuk menghasilkan banyak daya, sehingga kerapatan dayanya tinggi relatif lebih tinggi. (Kotz, R. 2000)



Gambar 2.16 Ragone Plot - Rapat Daya terhadap Densitas Energi (Kotz and Carlen. 2000)

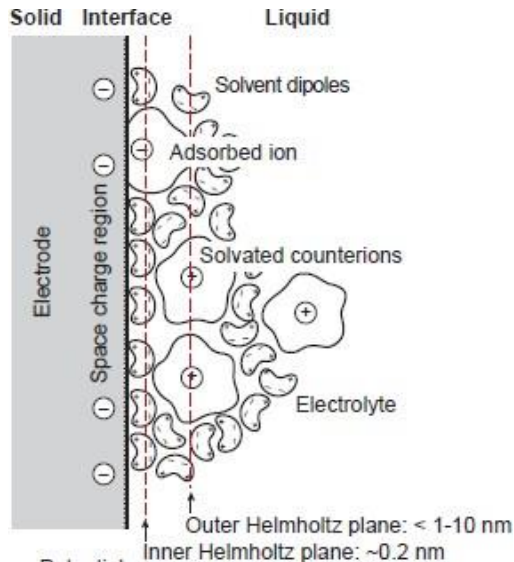


Kapasitor elektrokimia telah mampu menarik banyak perhatian karena densitas dayanya yang lebih tinggi dan siklus hidupnya yang lebih panjang bahwa dibandingkan dengan baterai, dan densitas energinya yang lebih tinggi bahwa dibandingkan dengan kapasitor konvensional (elektronik). Gambar Plot Ragone menunjukkan posisi berbagai alat penyimpan energy ditinjau dari energi spesifik dan daya spesifiknya seperti pada **Gambar 2.16**. Baterai seperti pada Li-ion baterai dapat mencapai energy density hingga 180 Wh/kg dengan power density yang rendah sampai 1 kW/kg. Superkapasitor dapat memberikan power density yang tinggi (10 kW/kg) dengan energi tersimpan yang lebih rendah daripada baterai (5 Wh/kg) (Conway 1999).

2.4.1 EDLC (*Electric Double Layer Capacitor*)

Kapasitor elektrokimia secara umum dikategorikan kedalam tiga jenis berdasarkan mekanisme penyimpanan energinya : EDLC, *Pseudocapacitor*, dan *hybrid capacitor*. Masing-masing secara berurutan terjadi mekanisme non-Faradaik, Faradaik, atau kombinasi keduanya. Mekanisme Faradaik melibatkan transfer muatan antara elektroda dan elektrolit melalui reaksi oksidasi-reduksi. Sebaliknya, mekanisme non-Faradaik tidak melibatkan proses pemutusan ikatan kimia melainkan melalui distribusi muatan pada permukaan elektroda. Penyimpanan muatan pada EDLC didasarkan pada pemanfaatan pemisahan muatan secara fisik antara ion-ion pada satu sisi elektroda dan muatan permukaan pada *interface solid- liquid* pada sisi lainnya, atau yang dikenal sebagai lapisan elektrokimia ganda. Lapisan ganda dapat dibentuk dengan memberikan tegangan pada elektroda yang terendam dalam larutan elektrolit. Tegangan yang diberikan akan menginduksi pemisahan muatan dan mendorong ion-ion dalam larutan elektrolit berdifusi melewati pemisah menuju elektroda. Di sekitar elektroda ion-ion tersebut akan mengalami penyusunan ulang akibat tertarik oleh muatan yang berbeda pada sisi solid elektroda. Oleh karena itu terbentuklah lapisan ganda yang terdiri atas dua lapis muatan paralel ion-ion pada *interface* elektroda- elektrolit dan ion-ion dengan muatan berlawanan pada sisi elektroda solid. **Gambar 2.17** menunjukkan

contoh pembentukan lapisan ganda pada permukaan elektroda.



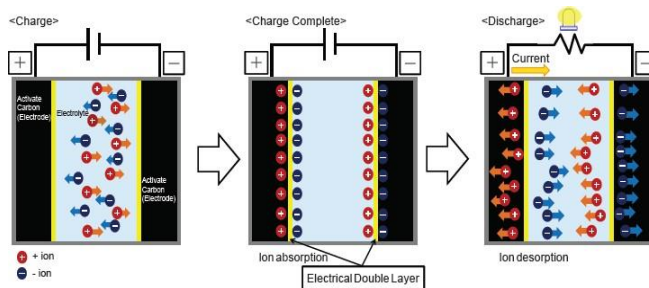
Gambar 2.17 Model pembentukan lapisan elektrokimia ganda (Kurzweil, et al. 2009)

Pemberian tegangan pada elektroda yang terendam dalam elektrolit juga menimbulkan mekanisme absorpsi dan desorpsi ion pada kedua layer elektroda karbon, yang berperan dalam pengisian dan pengosongan EDLC. Saat tegangan diberikan pada kedua elektroda yang berhadapan maka ion akan tertarik ke permukaan kedua elektroda dan terjadilah proses pengisian atau *charging*. Sebaliknya, ion akan bergerak menjauh saat EDLC digunakan atau *discharging* (Murata Manufacturing Co Ltd, 2013). Proses *charging and discharging* dari EDLC dapat dilihat pada **Gambar 2.18**. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, mekanisme kerja EDLC merupakan proses non-Faradaik yang tidak melibatkan transfer muatan antara elektroda dan elektrolit, sehingga tidak terjadi perubahan komposisi kimia. Untuk alasan inilah penyimpanan muatan EDLC memiliki tingkat reversibel dan stabilitas siklus yang tinggi. EDLC biasanya mampu beroperasi dengan karakteristik kinerja yang stabil untuk siklus



charge-discharge tinggi mencapai 10^6 cycles. Sebaliknya baterai elektrokimia hanya mampu bekerja dengan siklus mencapai 10^3 (Halper, et al., 2006).

Kinerja EDLC sangat bergantung pada jenis material elektroda (karbon) dan larutan elektrolitnya. EDLC menggunakan elektroda berbahan karbon karena mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi kira-kira 10^3 hingga $2 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Sedangkan larutan elektrolit berperan sebagai penyalur ion melalui proses disosiasi. Disosiasi sendiri merupakan peristiwa terurainya suatu zat menjadi beberapa zat yang lebih sederhana. Pada EDLC misalnya, sebuah larutan elektrolit AB terdisosiasi menjadi komponennya A^- dan B^+ .



Gambar 2.18 Skema proses charging and discharging pada EDLC (Murata co Ltd, 2013)

Hal tersebut dinamakan disosiasi elektrolit atau ionisasi dan reaksi ini juga merupakan reaksi reversibel atau berjalan bolak-balik karena ion-ion A^- dan B^+ juga bisa kembali membentuk elektrolit AB seperti yang terlihat pada persamaan 2.3. Melalui proses seperti inilah ion-ion bermuatan listrik dapat dimanfaatkan pada sistem kerja EDLC.



Karbon aktif digunakan sebagai elektroda, karena (1) biaya rendah, (2) luas permukaan yang tinggi, (3) ketersediaan, dan (4) teknologi produksi mudah. Karbon aktif yang digunakan dalam



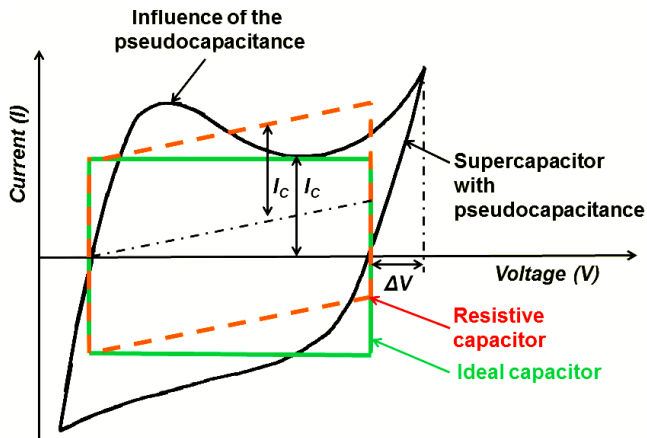
bentuk padatan sedangkan larutan elektrolitnya dalam bentuk cair. Ketika bahan-bahan ini melakukan kontak antara satu dengan yang lainnya, maka kutub positif dan negatif didistribusikan relatif terhadap satu dan yang lainnya dengan jarak yang sangat dekat. Fenomena seperti ini dikenal dengan sebutan lapisan elektrokimia ganda. Berbagai jenis EDLC telah beredar dipasaran, misalnya Rubycon, yang mempunyai kapasitansi mulai dari 1 – 30 F, Nesscap yang mempunyai kapasitansi 3-50 F, Murata yang mempunyai kapasitansi 0.47 F, sampai Dynacap yang mempunyai kapasitansi hingga 300 F. Saat ini EDLC telah diaplikasikan pada berbagai bidang, termasuk pada peralatan *LED flash*, *audio circuit* dan *power amplifier*. Selain itu juga diaplikasikan dalam meteran listrik, Solid State Disk (SSD) atau harddisk portable, Uninterrupted Power Supply (UPS).

2.4.2 Karakterisasi Superkapasitor

Superkapasitor adalah piranti elektrokimia yang dapat menyimpan energi dan melepaskannya kembali dengan kekuatan daya yang tinggi dan densitas arus yang tinggi selama selang waktu yang pendek. Sehingga, kapasitor sangat diunggulkan sebagai pengganti untuk baterai dan fuel cell pada berbagai variasi aplikasi, misalnya mobil dan piranti elektronik portabel. Prinsip penyimpanan energi pada superkapasitor adalah akumulasi dari muatan elektrostatis pada elektroda- interface elektrolit atau transfer dari muatan ke dalam lapisan molekul yang mengalami reaksi redoks pada bagian permukaan dari elektroda (pseudokapasitor). Berbagai tipe superkapasitor dapat dilihat dari jenis kurva *cyclic voltammogram (CV)* nya. **Gambar 2.19** menunjukkan berbagai tipe kurva CV dari berbagai jenis superkapasitor. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa superkapasitor mempunyai beberapa tipe. Yang pertama adalah superkapasitor ideal (warna hijau). Superkapasitor ideal menunjukkan pola *charging discharging* yang sama, sehingga mempunyai bentuk yang *rectangular*, atau persegi, yang menandakan bahwa *charging discharging* berlangsung dalam waktu yang sama. Yang kedua adalah jenis kapasitor resistif (warna merah). Kapasitor jenis ini ditandai oleh bentuk kurva CV



yang *rectangular*, namun miring keatas, yang menandakan adanya peningkatan *current density* seiring dengan pertambahan nilai voltase. Yang terakhir adalah jenis *pseudocapacitor* (warna hitam). Ciri khas dari jenis kapasitor ini adalah adanya *hump* (gundukan), yang menandakan terjadinya reaksi, baik oksidasi maupun reduksi. *Pseudocapacitor* biasanya mempunyai kapasitansi yang lebih tinggi, karena adanya efek reaksi redoks yang terjadi.



Gambar 2.19 Tipe kurva CV dari berbagai jenis superkapasitor (Stoller. 2009)

Superkapasitor EDLC sangat tergantung pada luas permukaan aktif dari material elektroda. Oleh karena itu, *Graphene* yang mempunyai luas permukaan aktif teoritik mencapai $2500 \text{ m}^2/\text{g}$, yang juga mempunyai sifat konduktivitas yang baik, mikrostruktur yang dapat dikontrol, dan stabilitas termal dan mekanik yang luar biasa, sangat menjanjikan sebagai elektroda EDLC. Dengan menggunakan elektroda dari grafit oksida yang telah direduksi, Stoller (2009), menemukan nilai kapasitansi mencapai 135 F/g dan 99 F/g pada larutan elektrolit organik.



2.5 Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dan nilai kapasitansi dari superkapasitor *Graphene* dengan beberapa jenis metode yang digunakan dalam pembuatan *Graphene* dan aplikasinya dalam superkapasitor

Tabel 2.4 Perbandingan nilai kapasitansi dari superkapasitor *Graphene*

Material	Perlakuan	Kapasitansi Spesifik (F/g)	Peneliti
<i>Graphene</i>	Deposit pada nickel foam	125,87	Hanung dkk (2015)
<i>Graphene</i>	Ultrasonikasi dan hidrotermal	190,01	Adhtiawan, dkk (2014)
<i>Graphene</i>	Massa Zink	90,623	Suwandan a, dkk (2014)
<i>Graphene</i>	Ultrasonikasi dan hidrotermal	491,36	Nurdiansah H, dkk (2014)
<i>Nitrogen doped Graphene</i> dari Sutra Kepompong	Temperatur karbonisasi dan % Nitrogen	348	Vikrant Sahu, dkk (2015)
<i>Nitrogen doped Graphene</i>	<i>Graphene</i> dengan variasi doping nitrogen	208,47	Dyah Ayu Safitri (2016)
<i>Bhoron doped Graphene</i>	<i>Graphene</i> dengan variasi doping bhoron	192,5	Yurian A. A. (2017)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa bahan penelitian, yakni:

1. Serbuk Grafit ukuran 150 μm (Purity 99%)
2. Aluminium (Al) powder
3. Aquades/Air Suling (H_2O)
4. Asam Sulfat (H_2SO_4)
5. Es Batu (H_2O Solid)
6. Natrium Nitrat (NaNO_3)
7. Potassium Permanganat (KMnO_4)
8. Hidrogen Peroksida (H_2O_2)
9. Asam Klorida (HCL)
10. Barium Klorida (BaCl_2)
11. Asam Boric (H_3BO_3)
12. Natrium Sulfat (Na_2SO_4)
13. Nickel Foam
14. Carbon Tape
15. Kertas Saring

3.2 Alat Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa alat yang digunakan yakni :

1. Neraca Analitik,
Alat ini digunakan untuk mengukur massa dari bahan padatan.
2. Pipet dan Mikro Pipet,
Alat Ini digunakan untuk mengambil larutan kimia.
3. Spatula,
Alat ini digunakan dalam pengambilan bahan atau sampel padat.
4. Hot Plate dengan Magnetik Stirrer ,
Alat ini digunakan untuk mencampurkan serta mengaduk agar homogen serta pemberian temperatur pada larutan yang diaduk.
5. Furnace (*Thermolyne*),



Alat ini digunakan untuk pemanasan dalam proses *drying* dan *hydrothermal*

6. Autoclave,
Alat ini digunakan dalam proses *hydrothermal* sebagai wadah larutan dalam menghomogenkan kontak panas dan udara vacuum
7. Erlenmayer,
Alat ini digunakan sebagai media tempat larutan yang memerlukan perlakuan mengadukan
8. Ice Bath,
Alat ini digunakan untuk tempat peletakan es saat membuat grafit oksida yang bersifat penjaga temperatur
9. Tabung Centrifuge,
Alat ini digunakan untuk menampung larutan yang akan dimasukan ke dalam alat centrifuge.
10. Centrifuge
Digunakan untuk mendispersi partikel endapan dalam larutan dan memisahkannya
11. Instrumen Karakterisasi,

Untuk karakterisasi digunakan beberapa alat,yakni :

- a. X-Ray Diffraction (XRD), Alat karakterisasi ini digunakan untuk menganalisa suatu material dan struktur kristal dari hasil penelitian.
- b. Scanning Electron Microscope (SEM-EDX), Alat karakterisasi ini digunakan untuk menganalisa morfologi dan juga ukuran partikel dari hasil penelitian.
- c. Fourier Transform Infrared (FTI-R), Alat karakterisasi ini digunakan untuk menganalisa jenis gugus ikatan kimia suatu material.
- d. Four Point Probe, Alat Karakterisasi ini digunakan untuk mengukur nilai konduktifitas listrik dari material.
- e. Cyclic Voltammetry (CV), Alat karakterisasi ini digunakan untuk mengukur material nilai kapasitansi dari hasil penelitian.

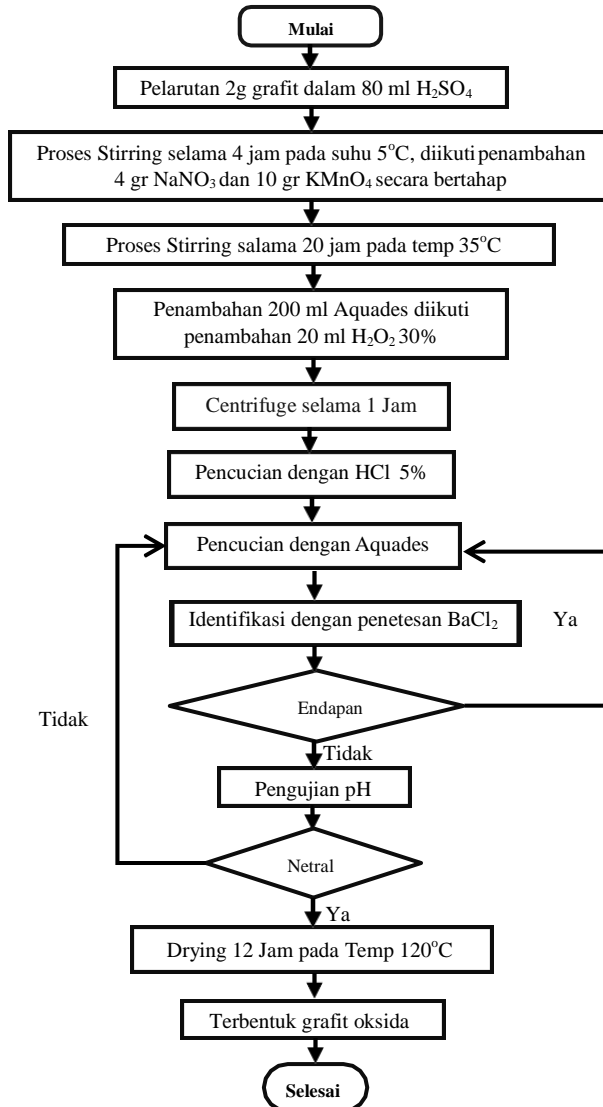


3.3 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat serangkaian proses untuk menghasilkan *graphene* dengan reduktor Aluminium (Al). Proses pertama merupakan proses pengubahan grafit menjadi grafit oksida dengan proses modifikasi *Hummer*. Selanjutnya sintesis *graphene* dengan cara mereduksi grafit oksida dengan reduktor Aluminium (Al). Selanjutnya serbuk *graphene* di depositkan ke *nickel foam* dan di bentuk elektroda.



3.3.1 Sintesis Grafit Oksida (GO)



Gambar 3.1 Flowchart Proses Sintesis Grafit Oksida (GO)

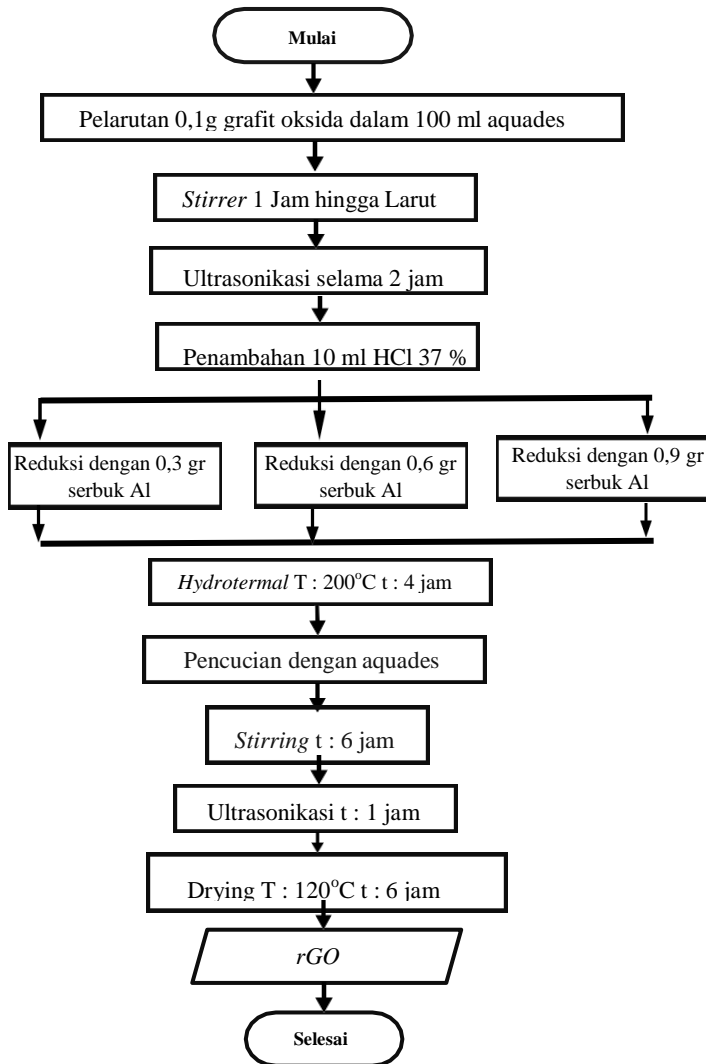


Grafrit oksida merupakan bahan utama pembuat *graphene* yang dibuat dari oksida grafit dalam larutan asam. Grafrit oksida disintesis dengan menggunakan modifikasi metode Hummer. Proses sintesis dengan metode ini menggunakan serbuk grafit, KMnO_4 , NaNO_3 , dan H_2SO_4 sebagai bahan dasar dan agen pengoksidasi. Proses sintesis grafit oksida ditunjukkan pada **Gambar 3.1**. Sintesis Grafrit Oksida dimulai dengan *stirring* 2 gram serbuk grafit dengan ukuran sekitar $150\ \mu\text{m}$ dengan 80 ml H_2SO_4 98% selama 4 jam dengan kecepatan tinggi di dalam *ice bath* dengan temperatur rata-rata 5°C . Setelah proses *stirring* berjalan selama 2 jam 10 gram KMnO_4 dan 4 gram NaNO_3 mulai ditambahkan sedikit demi sedikit dan bergantian selama satu jam, larutan akan berubah warna menjadi hijau keunguan selama proses penambahan zat tersebut. Lalu di biarkan teraduk selama satu jam setelah penambahan agar larutan menjadi homogen.

Setelah proses *Ice Bath* selesai dilakukan, dilanjutkan dengan proses *stirring* pada temperatur 35°C selama 20 jam dengan proses ini, larutan yang awalnya berwarna hijau keunguan akan perlahan berubah menjadi cokelat muda dan lebih kental. 200 ml aquades ditambahkan secara bertahap kedalam larutan tersebut agar mengurangi kekentalan, dalam tahap penambahan aquades larutan akan melepas kalor. Penambahan 200 ml aquades tersebut larutan akan berubah menjadi coklat tua. Setelah larutan menjadi homogen ditambahkan 20 ml hidrogen peroksida (H_2O_2) 30% secara bertahap sampai larutan menjadi homogen. Larutan kemudian dibiarkan dalam keadaan terstirring selama 30 menit. Dilanjutkan dengan *centrifuge* lalu diambil endapannya. Selanjutnya dilakukan pencucian dengan HCL 5% (0,1 M) untuk menghilangkan ion logam-logam yang tersisa. Proses pencucian selanjutnya menggunakan aquades secara berkala untuk menetralkan *pH*. Untuk mengetahui keberadaan ion sulfat dilakukan titrasi BaCl_2 1 M, Jika muncul endapan putih bersih maka di indikasikan bahwa masih terdapat ion sulfat di dalamnya. Larutan yang sudah netral dan tanpa pengotor (endapan) lain dilakukan *centrifuge* lagi untuk memisahkan grafit yang belum.



3.3.2 Sintesis Reduced *Graphene Oxide* (rGO)



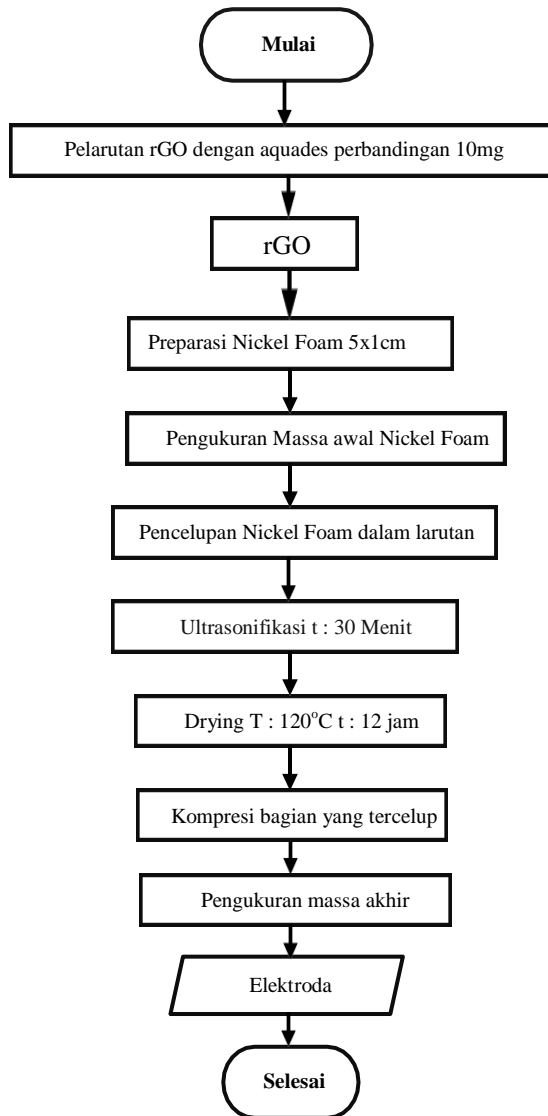
Gambar 3.2 Flowchart Proses Sintesis rGO



Reduced graphene oxide disintesis dengan cara meng- *exfoliated* grafit oksida menjadi *graphene oxide*, kemudian dilanjutkan dengan mereduksi *graphene oxide* menjadi *Reduced graphene oxide* (rGO). Grafit oksida direduksi untuk mendapatkan *graphene oxide* dengan cara stirring selama 1 jam yang sebelumnya 0,1 gram grafit oksida telah di larutkan dalam 100 ml aquades. Setelah itu grafit oksida yang sudah terlarut dalam aquades dilakukan proses ultrasonikasi yang berfungsi untuk mengelupas (*exfoliate*) grafit oksida menjadi lembaran- lembaran kecil *graphene oxide*. Proses ultrasonikasi dilakukan menggunakan gelombang ultrasonik dengan frekuensi lebih dari 20.000 Hz selama 120 menit. Larutan lalu di tambahkan HCl 37% sebanyak 10 ml, lalu ditambahkan Aluminium (Al) untuk mereduksi *graphene oxide* dengan variasi Aluminium : 0,8 gr ; 1,6 gr ; 2,4 gr ,di tambahkan lagi HCl 37% lalu di stirring selama 30 menit, di cuci dengan aquades hingga pH netral, setelah pH netral endapan di *hydrothermal* selama 4 jam pada temperatur 200°C. Proses sintesis ini menghasilkan rGO yang basah. Dilakukan pencucian dengan menggunakan aquades hingga pH netral proses lalu dilakukan drying pada temperatur 120°C selama 6 jam agar mendapatkan rGO yang kering. Proses ini ditunjukkan pada **Gambar 3.2.**



3.3.3 Pembuatan Elektroda



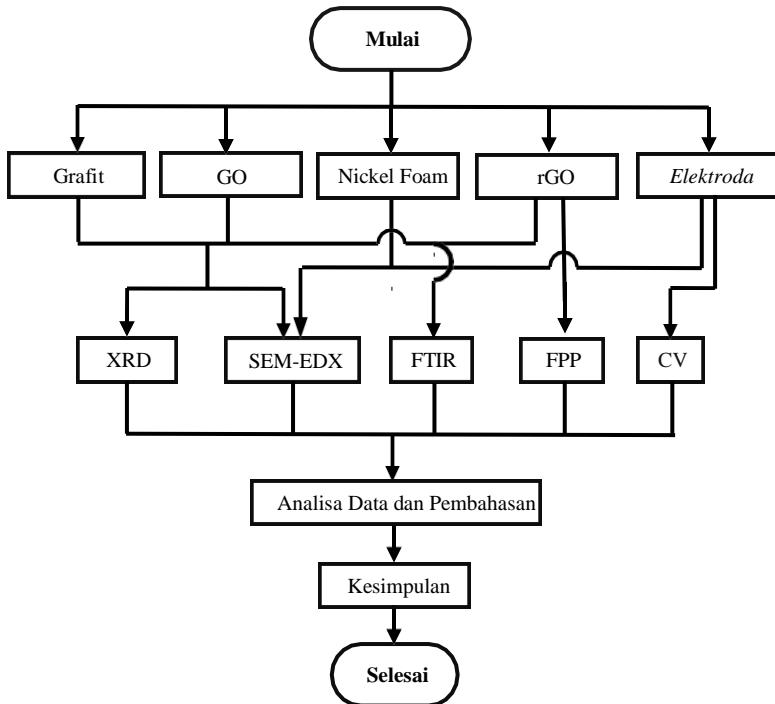
Gambar3.3 Flowchart Proses Pembuatan Elektroda



Dalam pembuatan elektroda, seperti yang ditunjukkan **Gambar 3.3** dimana dibuat larutan dengan perbandingan *reduced graphene oxide* (rGO) 1 mg dengan 1 ml aquades. Kemudian di stirring selama 1 jam agar larutan homogen. Larutan ini akan digunakan untuk mendepositkan rGO ke *nickel foam* sebagai elektroda dengan cara mencelupkan sebagian *nickel foam* ke larutan lalu di ultrasonikasi selama 30 menit. *Nickel foam* di preparasi dengan memotong hingga ukuran 5x1 cm. *Nickel foam* berfungsi sebagai elektroda. Penimbangan massa awal *nickel foam* dilakukan untuk mengetahui berapa banyak massa rGO yang nanti terdepositasi. *Nickel foam* yang telah ditimbang dicelupkan kedalam larutan rGO. Ultrasonikasi kemudian dilakukan selama 30 menit untuk mendepositkan rGO kedalam pori-pori *nickel foam*. Setelah itu dilakukan proses *drying* dengan cara memasukan *nickel foam* ke dalam *muffle furnace*, *drying* selama 12 jam dengan temperatur 120 °C. Elektroda yang sudah siap dilakukan pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) dengan larutan elektrolit Na_2SO_4 1M.

3.4 Pengujian

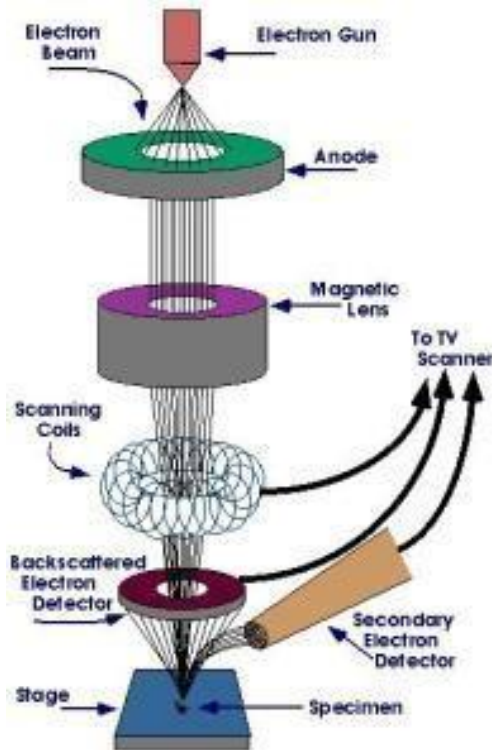
Dalam penelitian ini, digunakan data-data yang berasal dari beberapa pengujian sampel yang berguna untuk pembuktian teori yang ada serta hipotesa-hipotesa terhadap aplikasi pengembangan superkapasitor, khususnya superkapasitor berbahan *graphene*. Adapula pengujian yang dilakukan dalam mengumpulkan data-data seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.4**



Gambar3.4 Flowchart Pengujian Penelitian

3.4.1 Scanning Electron Microscopy (SEM) dan EDS

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop yang memanfaatkan pancaran elektron berenergi tinggi untuk memeriksa objek dalam skala yang sangat kecil. Pengamatan ini memberikan informasi mengenai topografi (jenis permukaan objek), morfologi (bentuk dan ukuran partikel), komposisi (unsur dan senyawa beserta jumlah relatif masing-masing) menggunakan EDS (*Energy Dispersive X-Ray analysis*). SEM digunakan untuk menguji topografi dan morfologi dari semua sample.



Gambar 3.5 Mekanisme kerja alat SEM
sumber:iastate.edu



Prinsip kerja SEM ini ditunjukkan pada **Gambar 3.5** dimana berkas elektron yang dihasilkan oleh electron gun menyapu permukaan sampel. Pada saat elektron berinteraksi dengan sampel, maka akan dihasilkan secondary electron (SE), elektron ini masuk ke dalam detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang menghasilkan gambar pada layar monitor. Sinyal keluaran dari detektor ini berpengaruh terhadap intensitas cahaya di dalam tabung monitor, karena jumlah cahaya yang dipancarkan oleh monitor sebanding dengan jumlah elektron yang berinteraksi dengan sampel. Hasil yang ditampilkan dengan secondary electron ini adalah topografi permukaan sampel. Sedangkan untuk mengamati fasa-fasa, dilakukan dengan backscattered electron (BSE) dengan hasil gambar yang memiliki gradasi warna. Bahan dengan nomor atom yang besar, akan tampak lebih terang dibanding bahan dengan nomor atom yang lebih kecil.

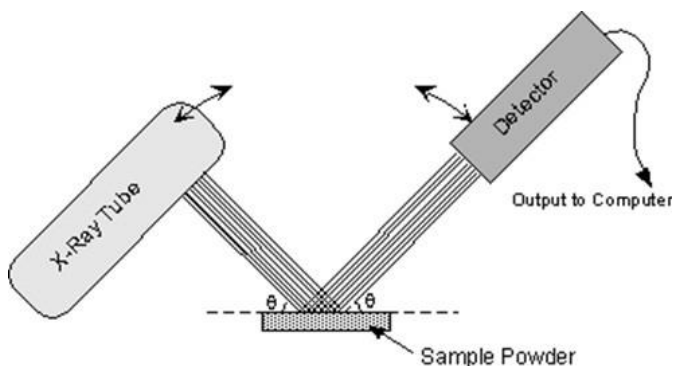


Gambar 3.6 *Scanning Electron Microscopy (SEM) Jeol JSM-7001F Inspect S50*

Pengujian EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), bertujuan untuk mengetahui apa saja jenis unsur penyusun material yang ada dalam sampel, dan sekaligus untuk mengetahui nilai % berat dan % atomik dari semua unsur penyusun tersebut. EDX digunakan untuk mengetahui kandungan jumlah atom aluminium yang terdeposit pada rGO dalam pengujian ini. Pengujian EDS dilakukan dengan menggunakan alat SEM, yang dilengkapi dengan software INCA yang ditunjukkan **Gambar 3.6**

3.4.2 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak – puncak yang spesifik. Sehingga kelemahan alat ini tidak dapat untuk mengkarakterisasi bahan yang bersifat amorf. Metode difraksi umumnya digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang belum diketahui yang terkandung dalam suatu padatan dengan cara membandingkan dengan data difraksi dengan database yang dikeluarkan oleh JCPDS (Joint Committee of Powder Diffraction Standard).



Gambar 3.7 Metode difraksi X-Rays Sumber:
<http://nanudz.blog.uns.ac.id>

Gambar 3.7 Menjelaskan Metode XRD dimana Tabung Sinar-X menembak pada sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memiliki beberapa sudut orientasi tertentu sehingga difraksi sinar-X memenuhi :



$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana,

n = orde reaksi (1,2,3,...)

λ = panjang sinar-X

d = jarak kisi

θ = sudut difraksi

Karakterisasi material menggunakan XRD menggunakan alat instrumen XRD PAN Alytcal yang ditunjukkan pada **Gambar 3.8**. Karakterisasi XRD menghasilkan beberapa data baik data kualitatif maupun data kuantitatif seperti pada **Tabel 3.1**



Gambar 3.8 Instrumen XRD PAN Alytcal

Tabel 3.1 Informasi hasil pengujian XRD (Pratapa, 2004)

No	Karakter	Informasi dari Material	
1	Posisi Puncak (2θ)	<ul style="list-style-type: none"> Fasa Identifikasi Kristal Struktur Kristal 	<ul style="list-style-type: none"> Parameter kisi Regangan seragam



2	Tinggi puncak (intensitas)	<ul style="list-style-type: none">• Identifikasi• Komposisi• Hamburan tak koheren <ul style="list-style-type: none">• Extinction• Preferred orientation
3	Lebar dan Bentuk Puncak	<ul style="list-style-type: none">• Ukuran kristal (bukan partikel atau grain)

Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafik garis- garis yang terekam per meninya, dengan detektor dalam sudut 2θ per menit sehingga sumbu-X setara dengan sudut 2θ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik.

Perhitungan jarak antar layer (dspacing) dapat menggunakan Hukum Bragg pada **persamaan 3.2**

$$d_{002} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \dots\dots\dots(3.2)$$

dimana : d_{002} = Jarak antar layar

λ = Panjang Gelombang (1.54 \AA)

θ = Sudut Difraksi ($^{\circ}$)

Perhitungan Ukuran Cristallite menggunakan **persamaan 3.3**

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \dots\dots\dots(3.3)$$

dimana : D = Ukuran Cristallite

λ = Panjang gelombang Cu-K α (1.54060 \AA)

β = FWHM (rad)

K = konstanta Scherrer dengan nilai 0.9

3.4.3 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Spektrofotometri Infra Red atau Infra Merah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi



elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0,75–1.000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000–10 cm^{-1} dengan menggunakan suatu alat yaitu Spektrofotometer Infra Merah. Metode ini banyak digunakan pada laboratorium analisis industri dan laboratorium riset karena dapat memberikan informasi yang berguna untuk analisis kualitatif dan kuantitatif, serta membantu penerapan rumus bangun suatu senyawa. Alat Uji FTIR terdapat pada **Gambar 3.9**

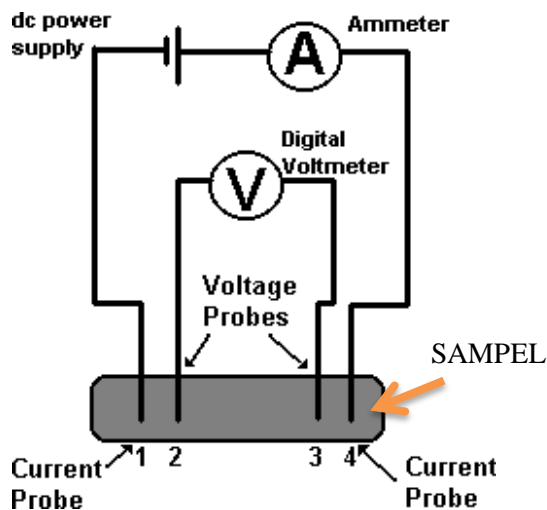


Gambar 3.9 Alat uji FTIR Sumber: Yurian. A

Pada prinsipnya, bila radiasi infra merah dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya dapat menyerap (mengabsorpsi) energi sehingga terjadi transisi antara tingkat vibrasi dasar (ground state) dan tingkat vibrasi tereksitasi (excited state). Pengabsorpsian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi oleh Spektrofotometer Infra Merah, yang memplot jumlah radiasi infra merah yang diteruskan melalui suatu cuplikan sebagai fungsi frekuensi atau panjang gelombang radiasi. Plot tersebut disebut spektrum infra merah, yang akan memberikan informasi penting tentang gugus fungsional suatu molekul. Vibrasi molekul hanya akan terjadi bila suatu molekul terdiri dari dua atom atau lebih. Untuk dapat menyerap radiasi infra merah (aktif inframerah), vibrasi molekul harus menghasilkan perubahan momen dwikutub.

3.4.4 Four Point Probe (FPP)

Pengujian *Four-Point Probe* (FPP) adalah salah satu jenis alat yang biasa digunakan untuk mengukur nilai resistansi suatu lapisan bahan elektronika yaitu bahan semikonduktor dalam pembuatan piranti elektronika. Seperti namanya, alat ukur ini didasarkan pada 4 buah probe dengan 2 probe berfungsi untuk mengalirkan arus listrik dan 2 probe yang lain untuk mengukur tegangan listrik sewaktu probe-probe tersebut dikenakan pada bahan (sampel). Konfigurasi utama alat ukur FPP dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.10** dimana keempat probe yang didesain dapat digerakkan naik dan turun. Gerakan turun dilakukan untuk meletakkan kesemua probe agar bersentuhan dengan permukaan sampel, sedangkan gerakan naik untuk melepaskan sentuhan probe dengan permukaan sampel. Mekanik gerakan probe (naik dan turun) tersebut biasanya ditopang oleh pegas (spring) untuk menghindari kerusakan permukaan sampel akibat tekanan yang terlalu kuat dari probe. Posisi ujung keempat probe harus segaris, yaitu sewaktu diturunkan semua probe harus menyentuh permukaan sampel.



Gambar 3.10 Skematik Four Point Probe Sumber:
Andrameda Y.A



Prinsip kerjanya, Sebelum arus dialirkan (diberikan) melalui probe, keempat probe diturunkan sehingga menyentuh permukaan sampel. Setelah itu arus I dialirkan melalui probe 1 dan 4. Dengan cara seperti ini arus akan dialirkan / didistribusikan secara laminar melalui sampel dari probe yang satu menuju probe yang satunya. Pada daerah dimana probe 2 dan 3 bersentuhan dengan sampel tegangan 'drop' diukur dengan voltmeter. Dari variasi perubahan arus yang diberikan, akan diperoleh perubahan tegangan yang diukur. Aliran arus pada probe 2 dan 3 sangat kecil dan dapat diabaikan sebab tegangan diukur dengan menggunakan voltmeter rintangan tinggi. Dari perubahan ini akan diperoleh nilai kerintangan (resistivity)

$$R = \frac{\rho}{2\pi t} \ln(2) \dots \dots \dots (3.4)$$

$$R = \frac{V}{I} \dots \dots \dots (3.5)$$

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} \times \frac{V}{I} \dots \dots \dots (3.6)$$

Dimana :

ρ	= resistivitas (Ohm)
T	= tebal material (cm)
V	= tegangan output (Volt)
I	= arus listrik (Ampere)

Dari nilai relastivitas, dapat diketahui besar konduktivitas sampel dengan persamaan :

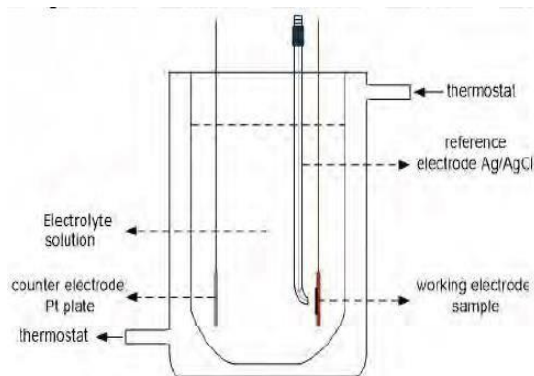
$$\sigma = \frac{1}{\rho} \dots \dots \dots (3.7)$$

Dimana :

σ	= Konduktivitas (S/cm)
----------	------------------------

3.4.5 Cyclic Voltametry (CV)

CV test adalah digunakan untuk mengetahui nilai kapasitansi dari sample elektroda dengan variasitertentu. Elektroda untuk pengujian ini dengan mendepositkan material yang diinginkan ke dalam *nickel foam*. Larutan yang digunakan untuk pengujian elektroda adalah Na_2SO_4 1M. *Potential window* yang digunakan dalam pengujian CV ini yaitu 0-0,8 V. Hal ini dilakukan karena menyesuaikan rentang potensial kerja kapasitor. Instrumen yang digunakan adalah AUTOLAB PG STAT 302 METHRO (Netherland), dengan *Counter Electrode* adalah platina.



Gambar 3.11 Sel Standar 3 Elektroda Sumber: Susanti D

Prinsip kerja *cyclic voltammetry* adalah dengan mengalirkan sejumlah beda potensial sehingga akan terukur besar sesuai dengan polarografi dari sampel elektroda yang digunakan dengan susunan seperti **Gambar 3.11**. Dalam CV, nilai kapasitansi juga dipengaruhi oleh reaksi redoks. Reaksi ini terjadi karena sampel bereaksi dengan elektrolit yang kuat sehingga nilai kapasitansi yang terbaca, tidak murni milik sampel. Untuk itu perlu menggunakan sampel dan elektrolit yang tepat jika ingin



menghindarkan redoks pada sampel. Hasil yang diperoleh pada pengujian ini yaitu grafik *cyclic voltammetry*. Untuk menghitung besarnya kapasitansi spesifik digunakan persamaan di bawah ini. Di samping itu, hasil dari CV juga menggambarkan sifat kapasitif elektrokimia dari elektroda kerjanya.

$$C = \frac{\int i dV}{2 w \gamma \Delta E} \dots\dots\dots (3.8)$$

Dari hasil pengujian CV juga dapat diketahui nilai Densitas Energi (E) dan Densitas Power (P) dengan menggunakan rumus di bawah ini.

$$E = 0,5 \times C \times (\Delta V)^2 \dots\dots\dots (3.9)$$

$$P = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (4.0)$$

Dimana :

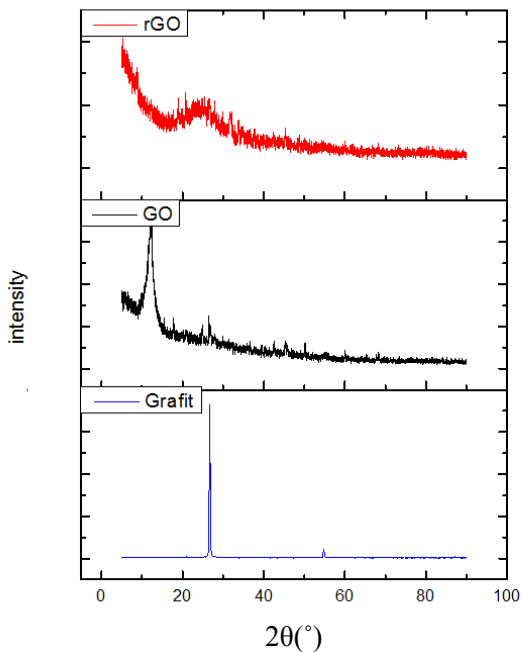
- E : Densitas Energi (Wh/kg)
- C : Kapasitansi (Farad/gr)
- ΔV : Potensial Window (Volt)
- P : Densitas Power (W/kg)
- t : Waktu discharge (sekon)
- I : Arus (Ampere)
- w : Massa Elektroda *Graphene* (gr)
- γ : Scan Rate (V/s)

BAB 4

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan pada sampel grafit, grafit oksida, *Reduced Graphene Oxide* (rGO). Alat yang digunakan dalam pengujian yaitu XRD Phillip Analytical dengan parameter sudut $2\theta = 5^\circ - 90^\circ$ dengan panjang gelombang Cu-K α 1.54060 Å. Dalam pengujian ini ditujukan untuk mengetahui perbedaan posisi puncak (*peak*) dari sampel dimana merupakan indikasi perubahan struktur dari material grafit hingga menjadi rGO dan perbedaan rGO dengan variasi reduktor massa Al. **Gambar 4.1** menjelaskan perbandingan hasil uji XRD pada sampel grafit, grafit oksida, dan *graphene*.



Gambar 4.1 Perbandingan hasil XRD pada sampel grafit, grafit oksida, *grapheme*



Dari **Gambar 3.2** dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan posisi puncak pada sampel grafit, grafit oksida, dan *grapheme (rGO)*. Pada sampel grafit terdapat puncak pada posisi $2\theta = 26.76^\circ$ dengan nilai dari d_{spacing} sebesar 3.33 Å dengan bentuk puncak yang tajam dan intensitas yang tinggi. Hasil XRD pada grafit tersebut menunjukkan bahwa sifat kristalinitas grafit sangat baik. Nilai intensitas XRD yang semakin tinggi menunjukkan kristalinitas yang semakin baik (Yoo, 2011). Setelah proses oksidasi pada grafit maka grafit berubah menjadi grafit oksida. Puncak dari grafit oksida berbeda dengan grafit yaitu berubah menjadi puncak pada posisi $2\theta = 12.45^\circ$ dengan nilai d_{spacing} yang lebih besar menjadi 7.10 Å dan intensitas yang lebih rendah.

Perubahan posisi puncak, nilai d_{spacing} dan intensitas dipengaruhi oleh gugus-gugus fungsional oksigen yang diakibatkan oleh proses oksidasi dalam material grafit. Hasil dari pengujian ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Pei (2015), dimana gugus-gugus oksigen membentuk lapisan atom hidrofilik yang menjadikan grafit oksida mudah larut dalam air. Pada hasil XRD grafit oksida masih terdapat grafit pada posisi $2\theta = 26.7^\circ$. Untuk mendapatkan *graphene* maka diperlukan proses reduksi grafit oksida. *Graphene (rGO)* mempunyai profil peak yang lebar pada posisi $\sim 16-28^\circ$ (Nasrullah, 2014). Adapun hasil XRD dari *Graphene (rGO)* berada pada puncak posisi $2\theta = 23.78^\circ$ dengan nilai $d_{\text{spacing}} = 3.49$ Å. Adapun nilai intensitasnya menurun dibandingkan dengan grafit dan grafit oksida. Nilai peak dari grafit oksida dan *graphene* ini sudah sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Zhang, et al (2009). Menurunnya intensitas pada *graphene* terjadi karena jumlah layer *graphene* semakin berkurang dengan ditunjukkan oleh nilai d_{spacing} yang menurun diakibatkan proses *chemical exfoliation* (pengelupasan kimia) dan struktur kristal *graphene* yang cenderung mempengaruhi struktur amorf.

Perhitungan jarak antar layer (d_{spacing}) dapat menggunakan Hukum Bragg pada **persamaan 3.2** yang bertujuan untuk menganalisa pengaruh sintesis dari grafit hingga menjadi rGO dan juga rGO variasi massa reduktor Al. Khususnya jarak layer pada sampel



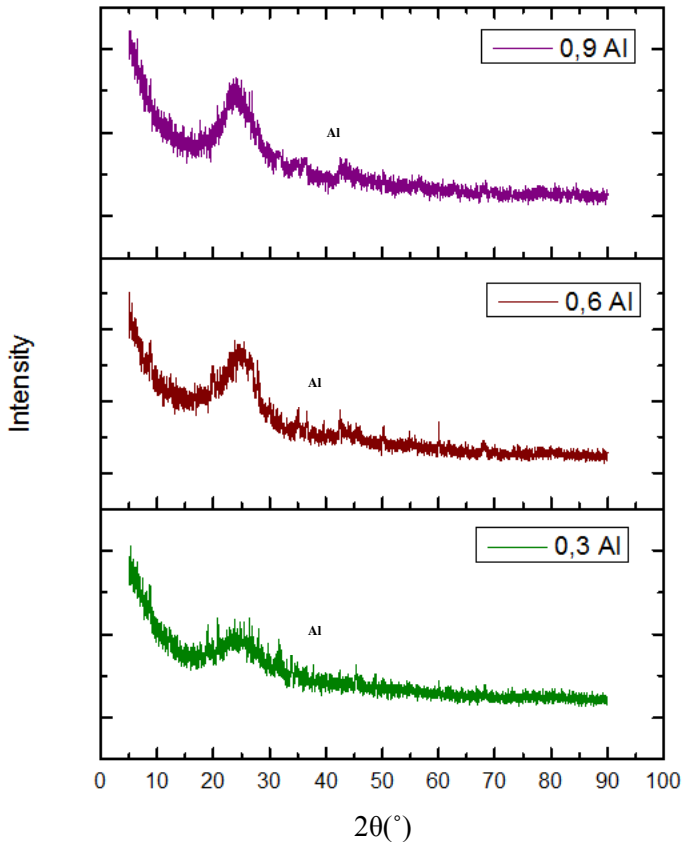
Hasil dari perhitungan jarak antar *layer* dibandingkan dengan seluruh sampel grafit, grafit oksida, dan rGO ditunjukkan dalam **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan nilai *dspacing* dari sampel grafit, grafit oksida, dan *grapheme*

No	Sampel	<i>dspacing</i> (Å)
1	Grafit	3.33
2	Grafit Oksida	7.10
3	Graphene (rGO)	3.49

Dari data pada **Tabel 4.1** dapat disimpulkan bahwa selama proses sintesis rGO, grafit akan mengalami pelebaran *dspacing* lalu kembali lagi mendekati ke jarak awalnya. Hal ini sesuai dengan penelitian Pei (2015), ini dapat terjadi karena proses reduksi menghilangkan gugus oksigen, lalu jarak antar *layer* dari *grapheme* (rGO) lebih besar dibandingkan grafit, hal ini mengindikasikan bahwa sedikit gugus fungsional yang tersisa.

Selanjutnya, pada **Gambar 4.2** menunjukkan perbandingan antara sampel rGO dengan variasi massa reduktor Al sebanyak 0,3 gram ; 0,6 gram dan 0,9 gram.



Gambar 4.2 Perbandingan hasil XRD pada *grapheme (rGO)* dengan variasi massa reduktor 0,3 Al ; 0,6 Al dan 0,9 Al

Hasil XRD perbandingan antara sampel *Graphene (rGO)* dengan variasi massa reduktor hampir tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Tetapi jika diamati, sampel memiliki perbedaan pada dspacing seperti yang ditunjukkan **Table 4.2**



Tabel 4.2 Hasil perhitungan nilai dspacing dari Graphene (rGO) dengan variasi massa reduktor Al

No	Sampel	Sudut Difraksi 2θ (°)	dspacing (Å)
1	Graphene (rGO) 0,3 Al	23,78	3,49
2	Graphene (rGO) 0,6 Al	25,54	3,48
3	Graphene (rGO) 0,9 Al	26,53	3,35

Dari hasil ini menunjukkan bahwa bahwa variasi massa reduktor Al pada rGO berpengaruh pada struktur kristalnya. Hasil XRD menunjukkan bahwa peak sudut difraksi 2θ (°) pada sampel bergeser kearah kanan sehingga menghasilkan dspacing yang lebih kecil. Untuk penambahan reduktor 0,3 gram menunjukkan peak 23.78° dan dspacing 3.49 \AA . penambahan reduktor 0,6 gram menunjukkan peak 25.54° dan dspacing 3.48 \AA . Penambahan reduktor 0,9 gram menunjukkan peak 26.53° dan dspacing 3.35 \AA . Dari **tabel 4.2**, dapat dilihat pada ketiga peak secara umum pergeseran terjadi ke derajat yang lebih tinggi saat terjadi penambahan nilai variasi massa reduktor Al. Berdasarkan persamaan Bragg dspacing dari rGO menjadi lebih kecil dengan ditambahkan reduktor Al mengakibatkan jarak antar layer dari *Graphene* semakin besar. Menurut Guoxiu Wang (2008) dspacing akan mengecil dikarenakan jaringan graphene terkonjugasi (sp^2 karbon) harus dibangun kembali selama proses reduksi, yang terkait dengan pembukaan berbagai jenis gugus fungsi oksigen seperti seperti hidroksil, karbonil, epoksida, lakton, atau gugus eter.

Pada grafik XRD rGO juga terlihat adanya perubahan FWHM (broadening) akibat dari pertambahan nilai variasi massa Al. Peak broadening ini mengindikasikan bahwa adanya perubahan *crystallite size*. Hal ini dapat didapatkan dengan persamaan Scherrer pada **Persamaan 3.3**. (Culity, 1956)

**Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Crystallite Size rGO**

No	Sampel	FWHM (rad)	D (nm)
1	Graphene (rGO) 0,3 Al	0,00931	206,75
2	Graphene (rGO) 0,6 Al	0,00407	350,77
3	Graphene (rGO) 0,9 Al	0,00349	522,42

Tabel 4.3 menunjukkan hasil perhitungan *crystallite size* dari rGO sampel. Pada sampel rGO 0,3 gram Al memiliki ukuran 206,75 nm, untuk penambahan 0,6 gram Al memiliki ukuran 350,77 nm. Dan setelah penambahan 0,9 gram Al memiliki ukuran 522,42 nm. Dari perbandingan ini didapatkan nilai *crystallite size* terbesar dimiliki oleh rGO 0,9 Al dan nilai terkecil pada rGO 0,3 Al. Seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.2** semakin bertambahnya massa reduktor peak XRD semakin runcing yang menandakan terbentuknya struktur kristalin.

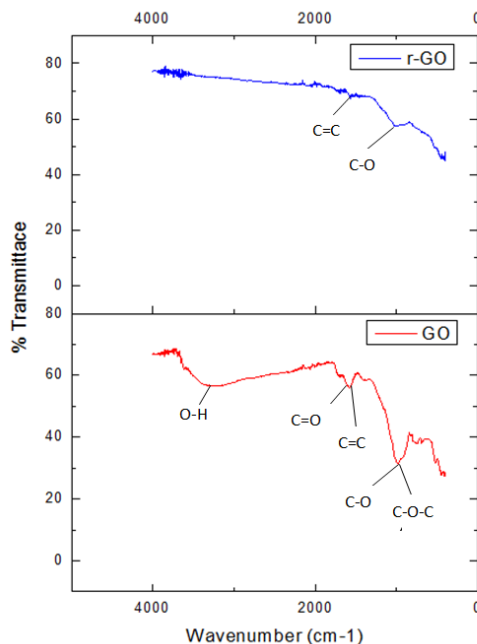
4.2 Hasil Pengujian Fourier Transform Infrared (FTIR)

Pengujian *Fourier-Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk selama proses sintesa. Pengujian ini menggunakan mesin Nicolet IS10 dengan *range* panjang gelombang sebesar 500-4000 cm^{-1} . Pengujian FTIR dilakukan terhadap grafit oksida, rGO, dan rGO dengan variasi massa reduktor Al.

Gambar 4.3 menunjukkan spectrum IR dari sampel, grafit oksida dan *reduced graphene oxide* (rGO). Proses oksida grafit menjadi grafit oksida akan memunculkan beberapa peak gelombang. Yang pertama untuk dipertimbangkan adalah puncak luas antara 3200 cm^{-1} dan 3700 cm^{-1} yang secara teratur dihubungkan dengan adanya gugus hidroksil O-H. Keunggulan puncak ini sangat besar yang memperkuat pandangan kandungan air interkalasi yang lebih tinggi dan oksidasi yang lebih luas. Pada



1723 cm^{-1} dan 1690 cm^{-1} puncak dapat diberikan pada getaran peregangan C = O, termasuk dalam gugus karboksil atau karbonil, ikatan C=C (*Aromatic*) dengan panjang gelombang 1532 cm^{-1} . Lebih banyak puncak dapat diidentifikasi di wilayah 1400-1000 cm^{-1} , termasuk deformasi O-H pada kelompok C-OH (pada 1387 cm^{-1}), getaran peregangan C-OH (pada 1224 cm^{-1}) dan C-O getaran peregangan pada epoksida C-O-C (pada 1.062 cm^{-1}). (Alazmi ,dkk. 2016).



Gambar 4.3 Pola Spektrum Grafit Oksida dan rGO

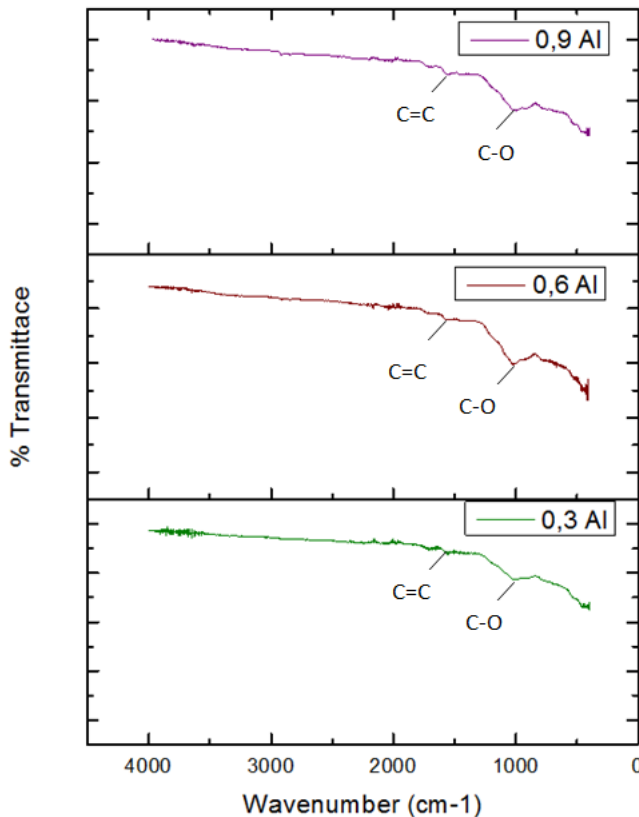
Sehingga dapat diidentifikasi pada **Tabel 4.4** dapat ditunjukkan beberapa ikatan yang umum dalam grafit oksida

**Tabel 4.4 Jenis gugus ikatan pada sampel GO (Alazmi ,dkk. 2016).**

No	Wavenumber	Range Wavenumber	Jenis Ikatan
1	1043 cm ⁻¹	1030-1150 cm ⁻¹	C – O (Alkoxy)
2	1577 cm ⁻¹	1400-1600 cm ⁻¹	C = C (Aromatik)
3	1692 cm ⁻¹	1690-1723 cm ⁻¹	C = O (Carbonyl)
4	3239 cm ⁻¹	3200-3700 cm ⁻¹	O – H (Alkohol)

Setelah langkah reduksi, semua pita absorpsi karakteristik dari gugus yang mengandung oksigen (misalnya O-H, C = O, C-O-C dan C-O) secara substansial melemah dan, dalam kasus sampel yang diolah secara termal, hampir dieliminasi (Alazmi ,dkk. 2016).

Pola spectrum IR dari sampel, *reduced graphene oxide* (rGO) ditunjukkan dalam **Gambar 4.4**



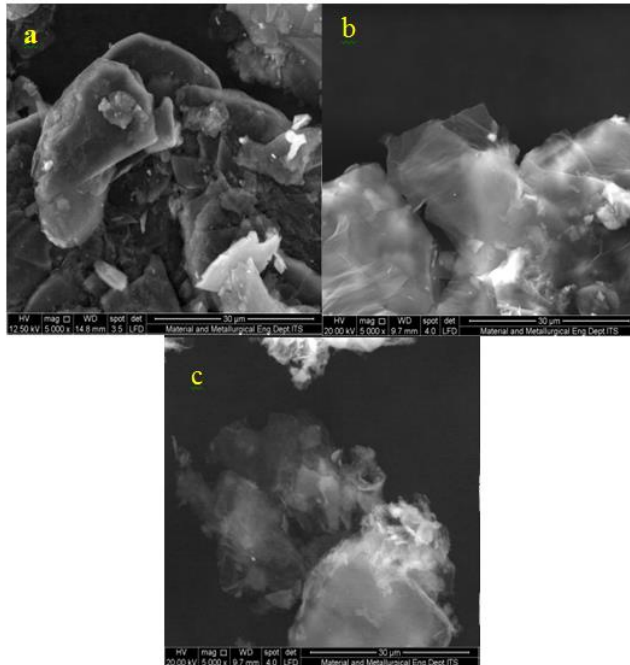
Gambar 4.4 Pola Spektrum rGO dengan variasi massa Al 0,3 gram; 0,6 gram dan 0,9 gram

4.3 Hasil Pengujian SEM-EDX

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan pada sampel grafit, grafit oksida, rGO dengan variasi massa reduktor Al, dan elektroda *nickel foam – reduced graphene oxide* (rGO), dengan variasi penambahan Al 0,3 gram, 0,6 gram dan 0,9 gram. Alat yang digunakan dalam pengujian SEM yaitu INSPECT S50.



Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui ukuran serta morfologi permukaan dari sampel-sampel tersebut. Pada **Gambar 4.5** ditunjukkan perbedaan permukaan morfologi dari sampel grafit, grafit oksida, dan rGO dengan perbesaran 5000x.

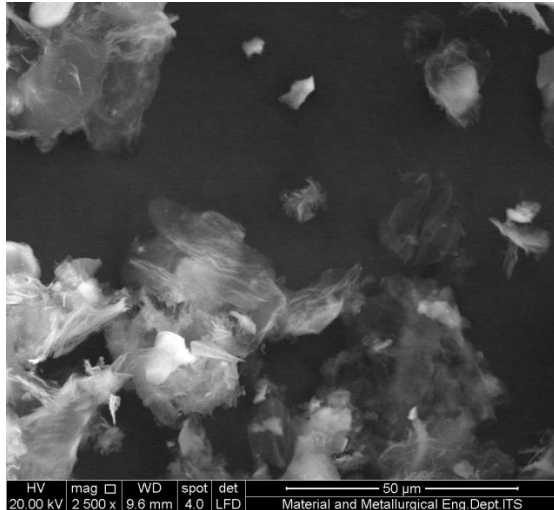


Gambar 4.5 Hasil SEM perbesaran 5.000x (a) grafit, (b) grafit oksida, (c) rGO

Berdasarkan **Gambar 4.5a** terlihat bahwa grafit memiliki morfologi dengan bentuk *flakes*. Grafit memiliki partikel yang kecil dan tidak teratur. Setelah grafit mengalami oksidasi menjadi grafit oksida, maka morfologi yang terjadi menjadi lembaran-lembaran berlapis sehingga terlihat tebal seperti yang ditunjukkan **Gambar 4.5b**. Ketebalan dapat ditunjukkan dari gradasi warna yang terlihat. Kemudian grafit oksida mengalami reduksi menjadi

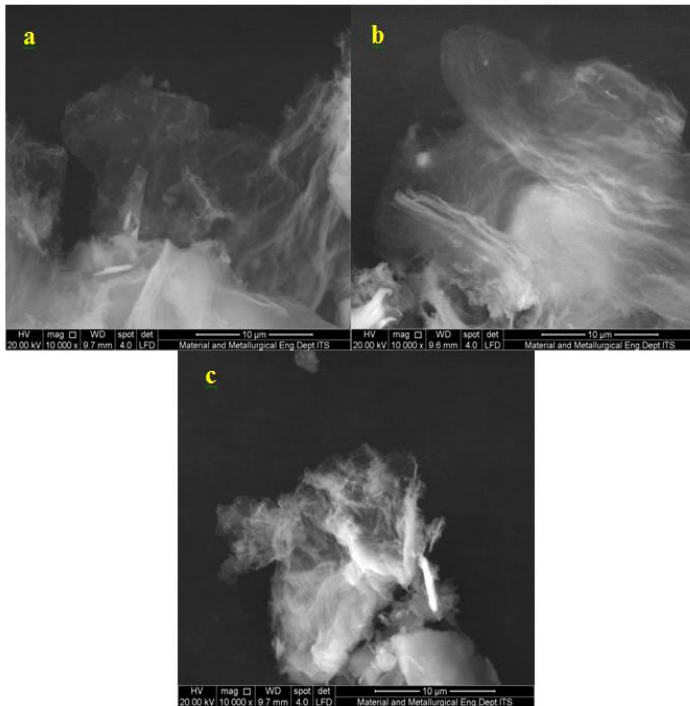


rGO. Pada **Gambar 4.5c** terlihat lembaran-lembaran lebih tipis namun bertumpuk dari rGO yang terbentuk oleh pelupasan (*chemical exfoliation*) grafit oksida.

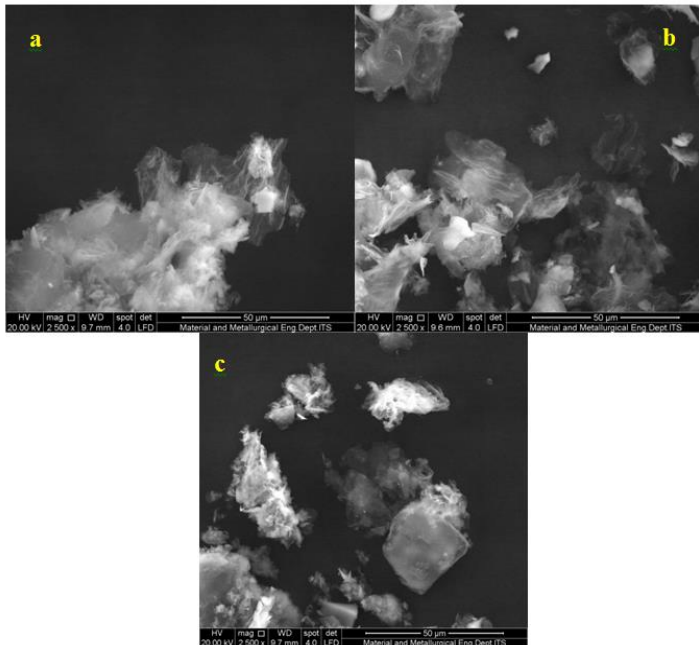


Gambar 4.6 Distribusi *Graphene* perbesaran 2500x

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa rGO memiliki bentuk lapisan yang tipis dan terdistribusi secara merata. Gradasi warna yang menebal dikarenakan sampel rGO yang bertumpuk. Ukuran rGO sekitar 20-30 mikron dengan bentuk flakes.



Gambar 4.7 Distribusi *Graphene* perbesaran 10.000x (a) *Graphene* dengan massa reduktor 0,3 gram Al (b) *Graphene* dengan massa reduktor 0,6 gram Al (c) *Graphene* dengan massa reduktor 0,9 gram Al



Gambar 4.8 Distribusi *Graphene* perbesaran 2500x (a) *Graphene* dengan massa reduktor 0,3 gram Al (b) *Graphene* dengan massa reduktor 0,6 gram Al (c) *Graphene* dengan massa reduktor 0,9 gram Al

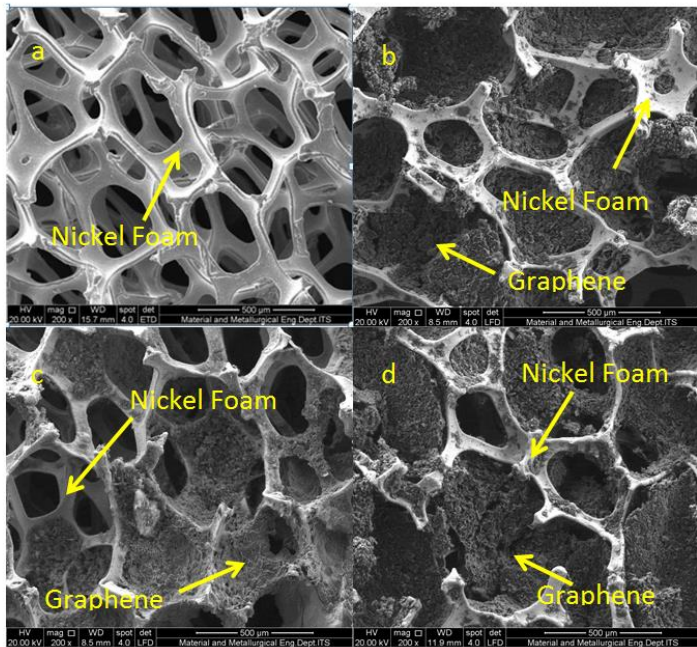
Gambar 4.7 dan **Gambar 4.8** (a),(b), dan (c) secara berturut-turut adalah *Graphene* (*rGO*) dengan variasi massa reduktor 0,3 gram Al, 0,6 gram Al dan 0,9 gram Al. Dapat dilihat pada **Gambar 4.7** yaitu hasil uji SEM dengan perbesaran 10.000x terlihat lembaran-lembaran tipis lebar dan bertumpuk, dan ketiganya relatif mirip dan tidak ada yang berbeda secara signifikan namun jika kita lihat pada **Gambar 4.8** yaitu hasil uji SEM dengan perbesaran 2500x dengan kenaikan nilai massa reduktor Al maka semakin di dapatkan distribusi *Graphene* (*rGO*) yang merata dan bongkahan-bongkahan *Graphene* (*rGO*) semakin kecil dan tipis. Hal ini menandakan bahwa semakin



tinggi nilai massa reduktor Al semakin banyak pula oksigen yang direduksi dan gugus oksigen semakin sedikit yang mengakibatkan semakin mudahnya ditemukan bongkahan tipis dan kecil dan juga merata.

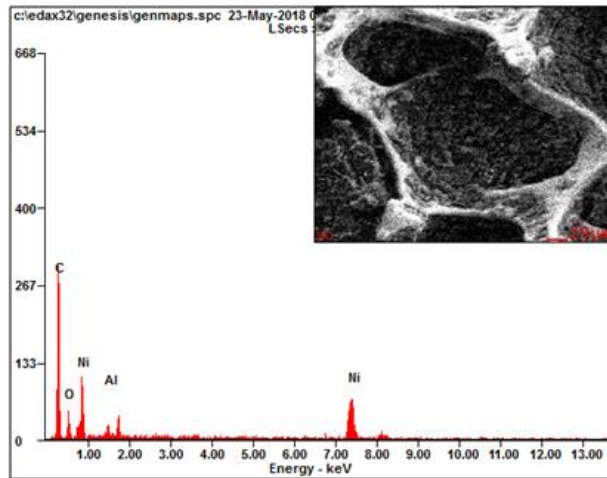
Pengujian SEM juga dilakukan terhadap elektroda *Ni-rGO* untuk mengetahui morfologi persebaran rGO yang telah di depositkan pada nickel foam. *Nickel foam* dicelupkan ke dalam larutan rGO kemudian didepositkan menggunakan metode ultrasonikasi yang akan membuat rGO masuk kedalam *nickel foam* karena pengaruh getaran yang dihasilkan instrumen ultrasonikasi. Ketika rGO dicampur dengan akuades akan menghasilkan larutan rGO yang didepositkan kedalam porous *nickel foam*. Pada **Gambar 4.9**, menunjukkan gambar SEM dari *nickel Foam* polos dengan bentuk seperti *network* sehingga memiliki bentuk berpori. Dengan bentuk sponge/berpori, *nickel Foam* yang berfungsi sebagai pengumpul arus akan memberikan akses yang lebih mudah bagi elektrolit serta meningkatkan luas area kontak antara rGO dan elektrolit akibat strukturnya yang berupa *porous* dengan ukuran diameter pori sekitar 250-500 mikron. Sampel rGO yang telah berhasil disintesis memiliki rata-rata ukuran sebesar 20-30 mikron. Dengan ukuran sebesar itu rGO memiliki kemungkinan untuk masuk kedalam pori-pori *nickel foam*. Permukaan *nickel foam* memiliki ukuran sekitar 50 mikron sehingga memungkinkan untuk rGO menempel pada permukaannya. Kecilnya ukuran rGO maka diharapkan akan meningkatkan luas area kontak antara *nickel foam* dan rGO. nampak bahwa rGO telah berhasil didepositkan. Terlihat pula bahwa rGO yang berupa lembaran-lembaran tipis mengisi atau menutupi permukaan pori yang ada di *Nickel Foam*.

Pada **Gambar 4.9** menunjukkan juga bahwa rGO menumpuk pada sebagian area. Walaupun telah terdeposit kedalam *nickel foam*, rGO tidak seluruhnya menutup permukaan dari *nickel foam*. Hal ini akan mengakibatkan menurunnya luas permukaan aktif dari elektroda.



Gambar 4.9 Hasil uji SEM perbesaran 200x (a) *Nickel Foam* (b) *Ni-rGO* dengan massa reduktor 0,3 gram Al (c) *Ni-rGO* dengan massa reduktor 0,6 gram Al (d) *Ni-rGO* dengan massa reduktor 0,9 gram Al

Selanjutnya, Dilakukan pengujian SEM-EDX (Energy Dispersive Spectroscopy) untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang berada pada sampel rGO dengan variasi massa reduktor Al. Hasil EDX untuk rGO ditunjukkan oleh **Gambar 4.10**, **Gambar 4.11**, **Gambar 4.12**



Gambar 4.10 Hasil Kurva EDS untuk rGO dengan massa reduktor 0,3 Al

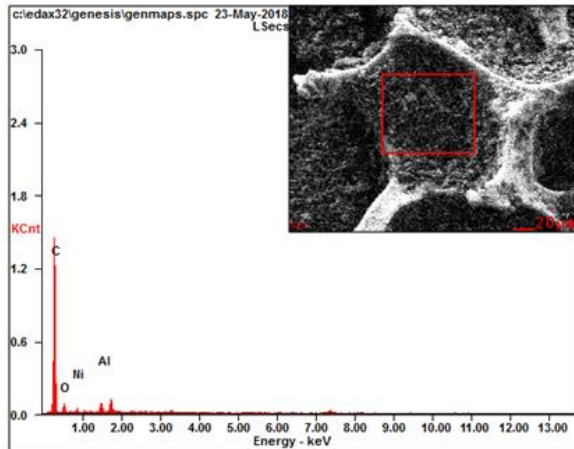
Tabel 4.5 Komposisi unsur penyusun rGO dengan massa reduktor 0,3 Al

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
CK	46.61	73.36
OK	09.99	11.81
AlK	02.25	01.57
NiK	41.15	13.25

Dari **Tabel 4.5** diatas, dapat diketahui bahwa rGO yang telah berhasil disintesis tersusun atas unsur dominan karbon dan Oksigen. Dengan persentase atom karbon sebesar 73.36% dan atom Oksigen sebesar 11.81% serta dengan rasio atom C/O untuk rGO adalah sebesar 6.21:1.

Dengan terdapat sangat sedikit reduktor Al yang tersisa yaitu 1.57%

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



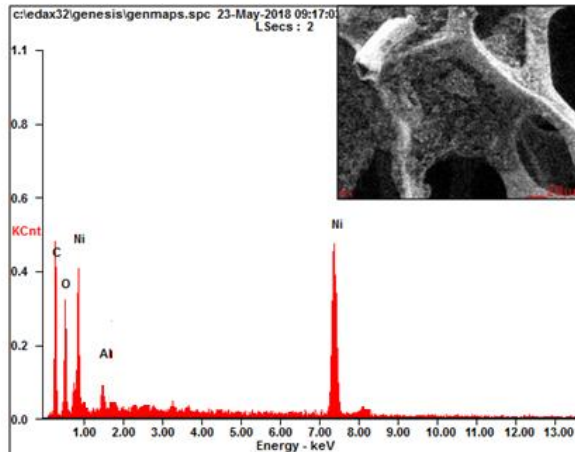
Gambar 4.11 Hasil Kurva EDS untuk rGO dengan massa reduktor 0,6 Al

Tabel 4.6 Komposisi unsur penyusun rGO dengan massa reduktor 0,6 Al

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	23.75	50.55
<i>OK</i>	12.29	19.63
<i>AlK</i>	03.84	03.64
<i>NiK</i>	60.12	26.17

Dari **Tabel 4.6** diatas, dapat diketahui bahwa rGO yang telah berhasil disintesis tersusun atas unsur dominan karbon dan Oksigen. Dengan persentase atom karbon sebesar 50.55% dan atom Oksigen sebesar 19.63% serta dengan rasio atom C/O untuk rGO adalah sebesar 2.57:1.

Dengan terdapat sangat sedikit reduktor Al yang tersisa yaitu 3.64%



Gambar 4.12 Hasil Kurva EDS untuk rGO dengan massa reduktor 0,9 Al

Tabel 4.7 Komposisi unsur penyusun rGO dengan massa reduktor 0,9 Al

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	73.22	82.90
<i>OK</i>	16.20	13.77
<i>NiL</i>	07.34	01.70
<i>AlK</i>	03.25	01.64

Dari **Tabel 4.7** diatas, dapat diketahui bahwa rGO yang telah berhasil disintesis tersusun atas unsur dominan karbon dan Oksigen. Dengan persentase atom karbon sebesar 82.90% dan atom Oksigen sebesar 13.77% serta dengan rasio atom C/O untuk rGO adalah sebesar 6.02:1.

Dengan terdapat sangat sedikit reduktor Al yang tersisa yaitu 3.25%



4.4 Hasil Pengujian Four Point Probe (FPP)

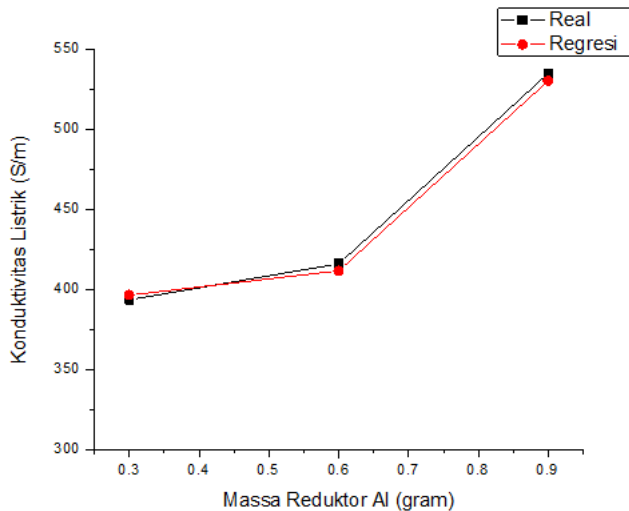
Pengujian *Four Point Probe* (FPP) dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan Input 3 V *pada power supply* dan menggunakan arus DC dengan rentang 3.4 – 3.6 mA. Hasil pengujian diperlihatkan pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Four Point Probe pada sampel rGO dengan variasi massa reduktor Al

No	Massa Reduktor Al (gram)	Tebal (cm)	Hambatan (Ω)	Resistansi (Ω/cm)	Konduktifitas Listrik (S/m)
1	0,3	0,004	14,027	0,254	393,34
2	0,6	0,004	13,270	0,240	415,77
3	0,9	0,004	10,245	0,185	538,53

Perhitungan konduktifitas listrik dilakukan menggunakan **persamaan 3.4 dan 3.5**. Berdasarkan tabel, dapat diketahui perbandingan konduktivitas dari material rGO. *Graphene (rGO)* dengan reduktor 0,3 Al memiliki konduktifitas sebesar 393,34 S/m. *Graphene (rGO)* dengan reduktor 0,6 Al memiliki konduktifitas sebesar 415,77 S/m. *Graphene (rGO)* dengan reduktor 0,9 Al memiliki konduktifitas sebesar 538,53 S/m.

Dari hasil ini diketahui bahwa nilai konduktifitas listrik pada *Graphene (rGO)* mengalami kenaikan yang berbanding lurus dengan jumlah massa reduktor yang ditambahkan. Semakin tinggi massa reduktor Al maka *Graphene (rGO)* akan memiliki nilai konduktifitas listrik yang semakin baik. Perbandingan ini dapat diamati dari **Gambar 4.13**



Gambar 4.13 Grafik perbandingan konduktifitas listrik pada rGO dan variasi massa reduktor Al

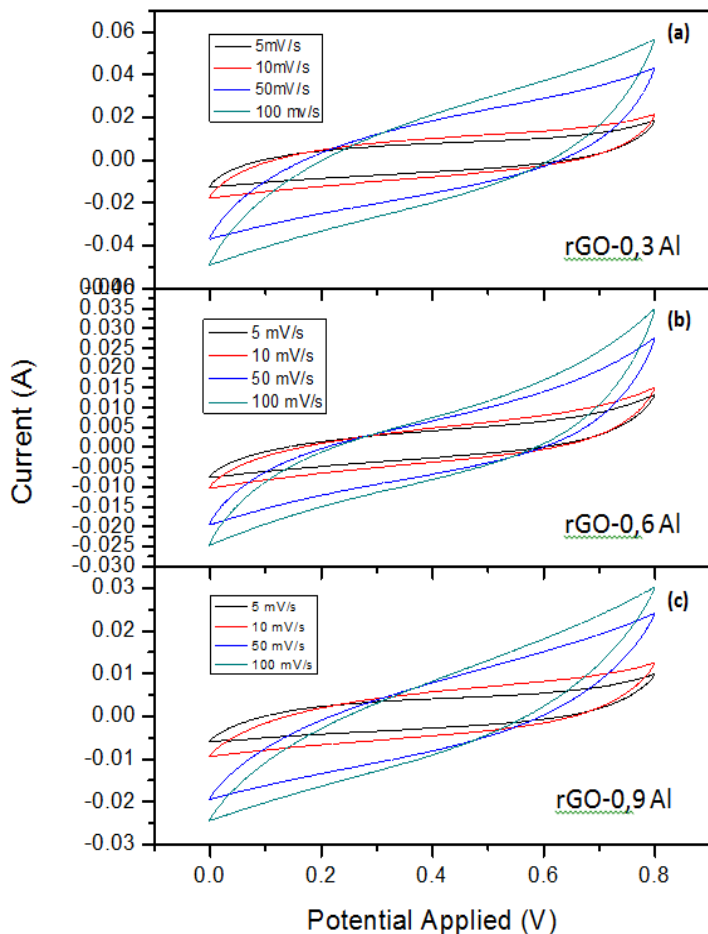
Menurut Charlier (2008) semakin bertambah kemurnian *Graphene* maka akan mengarah pada sifat *zero bandgap*. *Zero bandgap* ini mengakibatkan massa efektif elektron dan lubang heksagonalnya bernilai nol. Hal tersebut menjelaskan pada **Gambar 4.13** dimana bertambahnya massa reduktor kemampuan mereduksi gugus oksigen semakin besar dan hasilnya *Graphene* akan semakin murni.

4.5 Hasil Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV)

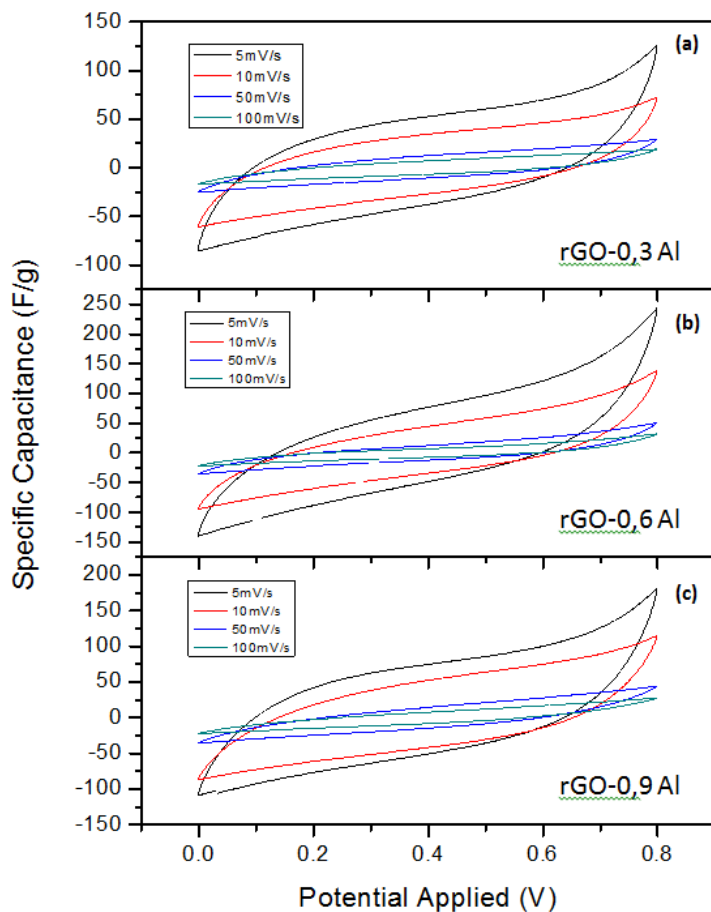
Pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) dilakukan pada sampel elektroda *Nickel Foam – Reduced Graphene Oxide (Ni-rGO)* dengan variasi massa reduktor Al 0,3gram, 0,6 gram dan 0,9 gram dengan tujuan untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik dari rGO dengan media *current electron nickel foam*. Alat yang digunakan dalam pengujian CV yaitu AUTOLAB PG STAT 302 METHROM di Departemen Teknik Material FTI-ITS dengan reference electrode Ag/AgCl dan counter electrode Pt



99.999%. Hasil pengujian CV untuk sampel *Ni-rGO* dengan variasi massa reduktor Al 0,3gram, 0,6 gram dan 0,9 gram pada kurva *Current vs Potential* dan ditunjukkan oleh **Gambar 4.14**



Gambar 4.14 Perbandingan hasil uji CV grafik I vs E sampel elektroda rGO dengan variasi massa (a) 0,3 reduktor Al (b) 0,6 reduktor Al (c) 0,9 reduktor Al



Gambar 4.15 Perbandingan grafik Specific Capacitance vs E sampel elektroda rGO dengan variasi massa (a) 0,3 reduktor Al (b) 0,6 reduktor Al (c) 0,9 reduktor Al



Penggunaan elektrolit netral dari Na_2SO_4 pada potensial kerja 0-0.8 V tidak menghasilkan gundukan (hump) seperti yang terlihat pada **Gambar 4.14**. Adapun gundukan (hump) merupakan indikator terjadinya reaksi redoks atau efek *pseudocapacitance*. Adapun yang terjadi dalam pengujian yaitu pembentukan *double capacitor*. karena diagram CV yang terbentuk menyerupai persegi panjang. Keempat kurva hasil pengujian CV diatas memiliki karakteristik bentuk yang hampir sama yaitu memiliki bentuk mendekati rectangular / persegi panjang yang menandakan sifat EDLC.

Tabel 4.9 Perbandingan hasil Specific Capacitance Terhadap Scan Rate dan Jumlah variasi massa reduktor Al

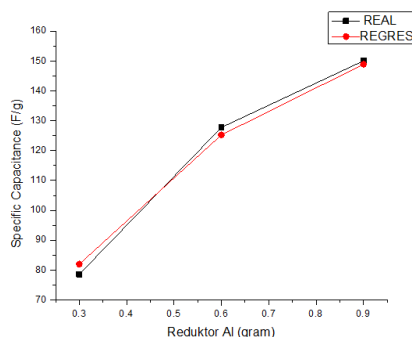
No	Elektroda	Al (gr)	Scan Rate (mV/s)	Spesific Capacitance (F/g)
1	rGO 1	0,3	5	78.6005
			10	52.0720
			50	21.2228
			100	13.9130
2	rGO 2	0,6	5	127.754
			10	79.6875
			50	28.8602
			100	18.0055
4	rGO 3	0,9	5	150.05
			10	95.625
			50	34.833
			100	21.427

Untuk mendapatkan nilai kapasitansi digunakan **persamaan 3.8** dengan bantuan perhitungan menggunakan software origin yang nantinya akan dibandingkan setiap nilai kapasitansi terhadap perlakuan *scan rate* yang berbeda-beda. Pemberian *scan rate* yang berbeda-beda yaitu 5mV/s, 10mV/s, 50 mV/s, dan 100mV/s.



Pemberian perlakuan *scan rate* yang berbeda-beda bertujuan untuk mengetahui pengaruh *scan rate* terhadap nilai kapasitansi yang didapatkan. *Scan rate* sangat mempengaruhi bentuk kurva dan nilai kapasitansi spesifik. Nilai kapasitansi spesifik meningkat seiring dengan penurunan *scan rate*. Nilai ini ditampilkan pada **Tabel 4.9**.

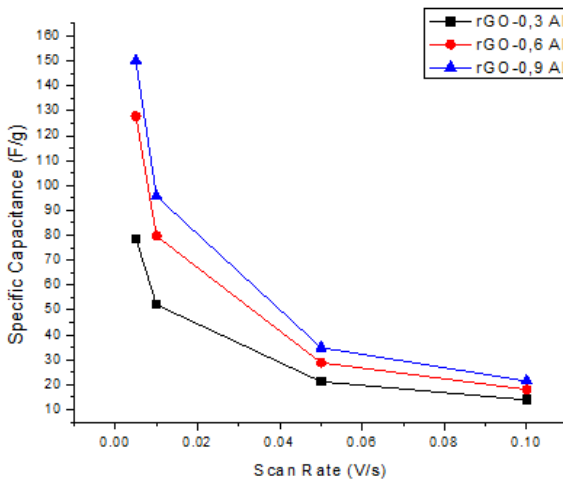
Dari Tabel 4.11 juga dapat ditunjukkan bahwa rGO-0,3 Al memiliki kapasitansi spesifik sebesar 78.6005 F/g pada *scan rate* 5mV/s. Sedangkan *scan rate* 10 mV/s menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 52.0720 F/g. Nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 50mV/s sebesar 21.2228 F/g dan nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 100mV/s sebesar 13.9130 F/g. Pada rGO-0,6 Al memiliki nilai kapasitansi spesifik sebesar 127.754 F/g pada *scan rate* 5mV/s. Sedangkan *scan rate* 10 mV/s menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 79.6875 F/g. Nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 50mV/s sebesar 28.8602 F/g dan nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 100mV/s sebesar 18.0055 F/g. Selanjutnya Pada rGO-0,9 Al memiliki nilai kapasitansi spesifik sebesar 150.05 F/g pada *scan rate* 5mV/s. Sedangkan *scan rate* 10 mV/s menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 95.625 F/g. Nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 50mV/s sebesar 34.833 F/g dan nilai kapasitansi spesifik untuk *scan rate* 100mV/s sebesar 21.427 F/g.



Gambar. 4.16 Nilai *Specific Capacitance* Material rGO terhadap Penambahan Jumlah massa reduktor Al



Nilai kapasitansi terbesar didapatkan pada variasi massa 0,9 gram Al dengan scan rate 5mV/s sebesar 150.05 F/g. Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan elektroda superkapasitor Grafit Oksida yang di buat oleh Stoller (2009) yaitu bernilai 135 F/g dan elektroda superkapasitor Graphene dengan reduktor Zink oleh Suwandana ,dkk (2014) dengan nilai 90.44 F/g. Dari data hasil uji CV tersebut semakin bertambahnya massa reduktor Al maka kapasitansi semakin meningkat dan hal tersebut sebanding lurus dengan konduktifitas listriknya. Dan dapat disimpulkan bahwa kemurnian paling besar didapatkan pada rGO dengan massa reduktor Al 0,9 gram didukung oleh nilai kapasitansi dan nilai konduktifitas listriknya terbesar, sehingga rGO dengan massa reduktor Al 0,9 gram paling mendekati graphene yang sempurna.



Gambar 4.17 Pengaruh *Scan Rate* terhadap nilai *Specific Capacitance* Material rGO dengan variasi massa reduktor Al



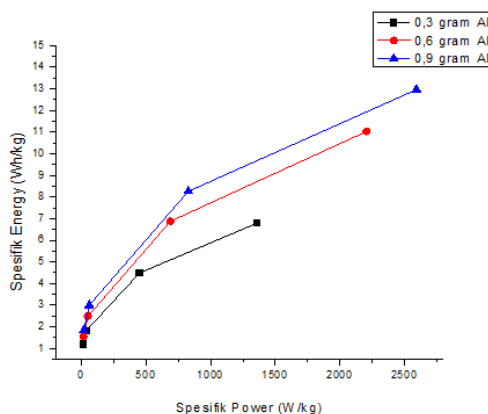
Pada **Gambar 4.14, Gambar 4.15, dan Tabel 4.9** yang menunjukkan bahwa *scan rate* semakin tinggi maka nilai kapasitansinya akan menurun. Hal ini terjadi karena *scan rate* mempengaruhi laju aliran ion-ion dari elektrolit menuju ke dalam elektroda *Ni-rGO*. Dengan *scan rate* yang tinggi maka laju aliran tegangan menjadi cepat, akibatnya waktu yang lebih singkat bagi ion-ion elektrolit untuk berdifusi ke dalam *Ni-rGO* sehingga membentuk *double layer* yang sedikit. Sedangkan pada *scan rate* yang rendah, laju aliran tegangan menjadi lambat, akibatnya waktu bagi ion-ion elektrolit untuk berdifusi ke dalam *Ni-rGO* lebih lama dan membentuk *double layer* lebih banyak (Conway 1995). Adapun dalam pengujian ini menggunakan potensial kerja 0-0,8 V atau maksimum kerjanya 800 mV/s. Bila dianalisa berdasarkan perhitungan, maka dengan *scan rate* 100 mV/s maka waktu difusi ion-ion elektrolit ke dalam *Ni-graphene* hanya 16 sekon. Sedangkan dengan *scan rate* 5 mV/s, waktu difusi ion-ion elektrolit tersebut sebesar 320 sekon lebih besar dari penggunaan dengan *scan rate* 100 mV/s. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kapasitansi *Ni-graphene* dipengaruhi oleh waktu difusi ion-ion elektrolit. Grafik pengaruh *scan rate* terhadap nilai *kapasitansi spesifik* ditunjukkan pada **Gambar 4.16**

Nilai kapasitansi hasil dari pengujian CV juga dapat digunakan untuk menentukan nilai energi spesifik dan daya spesifik dengan menggunakan **persamaan 3.9** dan **persamaan 4.0**. Hasil Tabel perhitungan spesifik energi dan spesifik daya ditunjukkan oleh **Tabel 5.0**. Adapun nilai spesifik daya yang paling besar pada *scan rate* 5 mV/s dan juga pada spesifik energi dimana terbesar dengan *scan rate* 5 mV/s pada *r-GO (Graphene)* dengan massa reduktor 0,9 gram Al. Dari hasil perhitungan daya spesifik dan energi spesifik pada **Tabel 5.0** nampak bahwa reduktor aluminium pada *rGO* memenuhi karakteristik sebagai superkapasitor karena *specific power* (W/Kg) berada pada rentang 10^1 hingga 10^6 sedangkan *specific energy* (Wh/Kg) berada pada rentang $5 \cdot 10^{-2}$ hingga $3 \cdot 10^1$.

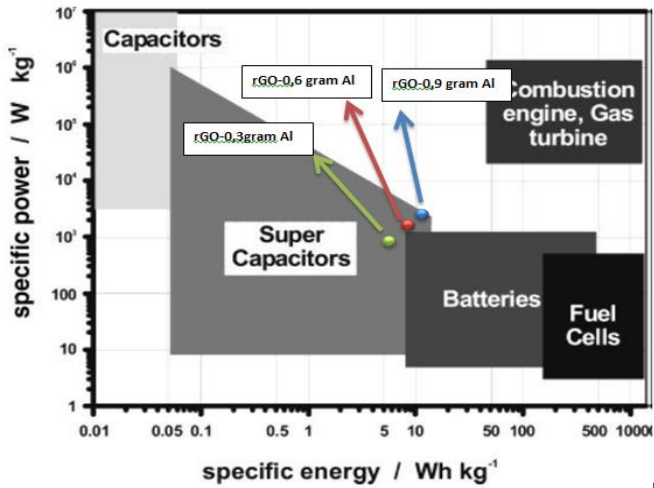


Tabel 5.0 Perbandingan hasil Energi Spesifik dan Daya Spesifik Terhadap *Scan Rate* dan Jumlah Doping Atom Boron

No	Elektroda	At %Al	S.R (mV/s)	C (F/g)	W (Wh/kg)	P (W/kg)
1	rGO 1	0,3	5	78.06	6.79	1358.21
			10	52.07	4.49	449.90
			50	21.22	1.83	36.67
			100	13.91	1.20	12.02
2	rGO 2	0,6	5	127.75	11.03	2207.64
			10	79.687	6.88	688.5
			50	28.860	2.49	49.870
			100	18.005	1.55	15.556
3	rGO 3	0,9	5	150.05	12.96	2592.864
			10	95.625	8.262	826.2
			50	34.833	3.00	60.192
			100	21.427	1.85	18.513



Gambar 4.19 Plot Ragone pengaruh Scan Rate vs Variasi Mmassa reduktor Al



Gambar 4.19 Plot Ragone hasil variasi massa reduktor Al

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan dari rGO dengan variasi massa reduktor Al 0,3 ; 0,6 dan 0,9 gram maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan massa reduktor Al menunjukkan adanya perbedaan struktur pada kristallite size pada pengujian XRD semakin bertambah nilai reduktor semakin besar kristallite size , Morfologi untuk graphene semakin bertambahnya massa reduktor Al menunjukkan layer graphene semakin lebar, tipis dan distribusi nya semakin banyak dan tidak menumpuk tebal.
2. Adanya penambahan massa reduktor Al berpengaruh terhadap kapasitansi spesifik graphene semakin bertambahnya massa reduktor Al nilai kapasitansi spesifik semakin meningkat dan penambahan massa 0,9 Al merupakan yang paling optimal, karena didapatkan nilai kapasitansi yang paling tinggi sebesar 150.05 F/g.

5.1 Saran

Beberapa saran yang dapat diperhatikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut lagi sifat-sifat graphene dengan reduktor Al terutama sifat konduktifitas listri, konduktifitas termal dan kapasitansi bukan hanya terbatas pada karakterisasi keberhasilan sintesis graphene dengan reduktor Al
2. .Dapat dilakukan penelitian dengan penambahan variasi atau parameter reduktor Al.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Alazmi, A., Rasul, S., Patole, S.P., Costa, P.M.F.J. (2016). Comparative Study of Synthesis and Reduction Methods for *Graphene Oxide*. **POLYHEDRON The International Journal for Research In Organic Chemistry**.
- Choi, W., Et Al. (2010). Synthesis Of *Graphene* And Its Applications: A Review. **Solid State And Materials Sciences**, 52-71 Hlm.
- Chua, C.K and Pumera, M., (2013). Chemical Reduction of Graphene Oxide: a synthetic chemistry viewpoint. **Nanyang Technological University – Chemistry and Biological, Chemistry, Singapore 637371, Singapore**.
- Conway, B.E. (1999). -Electrochemical Supercapacitors. Scientific Fundamentals And Technological Applications!. **Kluwer Academics/Plenum Publishers**. New York, U.S.A.
- Fan, Z., Wang, K., Wei, T., Yan, J., Song, L., Shao, B. (2010). An Environmentally Friendly and Efficient Route for The Reduction of *Graphene Oxide* by Aluminum Powder. **CARBON** 48: 1 670-1692.
- Geim, A. K, Dan K. S. Novoselov, (2007). The Rise Of *Graphene*. **Nat Matter**. 6,3 (183-191), 1476-1122.
- Hummer, W.S., Offerman, R.E., (1958). Preparation Of Graphitic Oxide. **J Am Chem Soc**. 80(6), 1339.
- Jeon, C.H., Et Al. (2014). Material Properties of Graphene/Aluminum Metal Matrix Composites Fabricated by Friction Stir Processing. **INTERNATIONAL JOURNAL OF PRECISION ENGINEERING AND MANUFACTURING** Vol. 15, No. 6, pp. 1235-1239.
- Kotz, R. And M. Carlen. (2000). "*Principles And Applications Of Electrochemical Capacitors*." **Electrochimica Acta**. 45(15-16): 2483-2498.

- Murata America Co. Ltd. 2013. High Performance Electrical Double Layer Capacitor. **Syrna: Murata Electronics**
- Nasrullah, M. 2014. Analisis Fasa Dan Lebar Celah Pita Energi Bahan Karbon Pada Hasil Pemanasan Tempurung Kelapa. Surabaya : **Laporan Tugas Akhir Fisika FMIPA-ITS**. Surabaya.
- Neto, A.H.C., Et Al. (2009). The Electronic Properties of Graphene. **REVIEWS OF MODERN PHYSICS, VOLUME 81**.
- Singh, V., Et Al. (2011) -*Graphene Based Materials: Past, Present And Future*, **Prog. Mater. Science.**, Vol. 56, No. 8, Pp. 1178–1271.
- Stankovich, S., Et Al. (2007). Synthesis of Graphene-based Nanosheets via Chemical Reduction of Exfoliated *Graphite Oxide*. **Carbon** 45 (2007) 1558–1565
- Stoller, D.M., Park, S., Zhu, Y., An, J., Ruoff, R.S., 2009. "Graphene-Based Ultracapacitors". **American Chemical Society**. Washington, DC 20036.
- Stolyarova, Elena. (2007). "*High-Resolution Scanning Tunneling Microscopy Imaging Of Mesoscopic Graphene Sheets On An Insulating Surface*". **Proceedings Of The Natioanl Academy Of Sciences** 104: 9209–9212.
- Terrones, M., Et Al. (2010). Graphene and Graphite Nanoribbons: Morphology, Properties, Synthesis, Defects and Applications. **Nano Today** 5, 351—372.
- Tien, H. N., Lee, T. K., Kong, B. S., Chung, J. S., Kim, E. J., & Hur, S. H. 2012. "Enhanced Solvothermal Reduction Of *Graphene Oxide* In A Mixed Solution Of Sulfuric Acid And Organic Solvent". **Chemical Engineering Journal**, 211, 97-103.
- Warner, M, Dkk. (2006). "Graphene And Grafit Nanoribbons: Morphology, Properties, Synthesis, Defects And

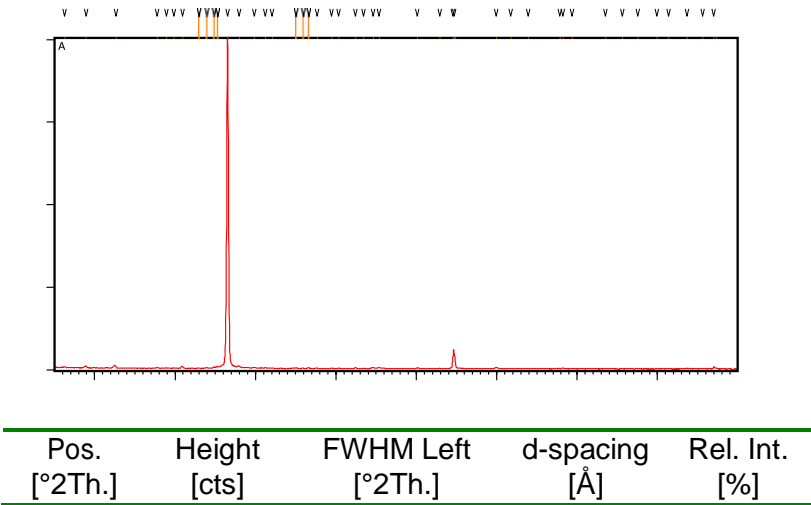
- Applications". **Nano Today**, 5(4), 351-372.
- Warner, M., Botello-Méndez, A. R., Campos-Delgado, J., López-Urías, F., Vega-Cantú, Y. I., Rodríguez-Macías, F. J. & Terrones, H. 2006. "*Graphene* And Grafit Nanoribbons: Morphology, Properties, Synthesis, Defects And Applications". **Nano Today**, 5(4), 351-372.
- Wu Z, Ren W, Xu L, Li F, Cheng H. (2011) Doped graphene sheets as anode materials with superhigh rate and large capacity for lithium ion batteries. **ACS Nano**. 26;5(7):5463-71.
- Zhou, Yong. Qiaoliang Bao. Lena Ai Ling Tang. Yulin Zhong. Kian Ping Loh (2009). -Hydrothermal Dehydration For The Green Reduction Of Exfoliated *Graphene* Oxide To *Graphene* And Demonstration Of Tunable Optical Limiting Properties.‖ **Department Of Chemistry, National University Of Singapore (NUS)**. Singapore.

LAMPIRAN

I Grafik XRD

Grafit

Main Graphics, Analyze View:

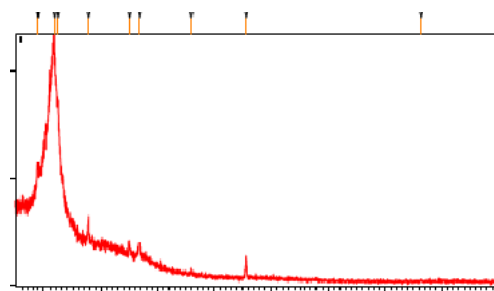


Peak List :

6.2473	102.85	0.2676	14.14787	0.26
8.8837	222.70	0.2007	9.95438	0.56
12.5951	213.12	0.1171	7.02823	0.53
17.7311	106.59	0.2007	5.00230	0.27
18.8550	64.15	0.0836	4.70660	0.16
19.8261	58.91	0.2676	4.47819	0.15
20.8581	260.22	0.2676	4.25891	0.65
22.9623	32.18	0.3346	3.87317	0.08
23.9193	118.35	0.1338	3.72032	0.30
24.8012	133.10	0.1338	3.59000	0.33
25.2140	254.52	0.2007	3.53215	0.64
26.5254	40071.22	0.1673	3.36043	100.00
27.9155	279.55	0.2342	3.19617	0.70

Grafit Oksida

Main Graphics, Analyze View:

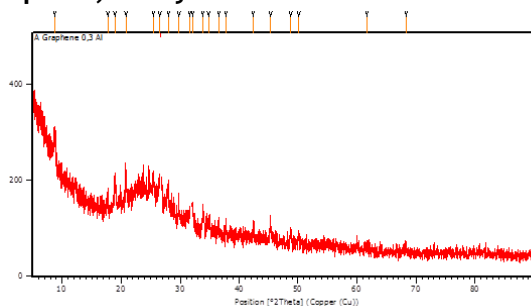


29.8288	141.49	0.1673	2.99538	0.35
31.1993	93.52	0.2676	2.86685	0.23
32.0320	66.54	0.2007	2.79420	0.17
35.0250	99.14	0.2007	2.56199	0.25
35.9105	37.21	0.2007	2.50082	0.09
36.5551	131.13	0.2676	2.45819	0.33
37.6446	46.93	0.3346	2.38951	0.12
39.4523	69.29	0.1673	2.28409	0.17

40.3038	48.87	0.2007	2.23778	0.12
42.3847	125.29	0.2676	2.13260	0.31
43.3568	32.18	0.2007	2.08702	0.08
44.5943	143.28	0.3011	2.03194	0.36
45.3612	156.02	0.2007	1.99935	0.39
50.0509	102.29	0.2676	1.82246	0.26
52.8739	27.81	0.4015	1.73162	0.07
54.5178	1207.48	0.0612	1.68183	3.01
54.6460	2296.72	0.1020	1.67819	5.73
54.7827	1367.63	0.0816	1.67848	3.41
59.9513	167.33	0.3264	1.54173	0.42
61.6965	16.28	0.4080	1.50224	0.04
63.8381	10.72	0.9792	1.45691	0.03
67.8012	50.44	0.2856	1.38107	0.13
68.1956	73.59	0.3264	1.37404	0.18
69.3474	31.08	0.3264	1.35401	0.08
73.4894	19.45	0.4896	1.28759	0.05
75.6041	22.69	0.2448	1.25674	0.06
77.5027	54.49	0.4080	1.23062	0.14
79.9144	26.27	0.4896	1.19944	0.07
81.3002	28.14	0.4896	1.18246	0.07
83.6355	66.93	0.4896	1.15528	0.17
85.6010	32.72	0.5712	1.13371	0.08
86.9677	228.70	0.1020	1.11938	0.57
87.2984	133.40	0.1224	1.11876	0.33

rGO 0,3 Al

Main Graphics, Analyze View:

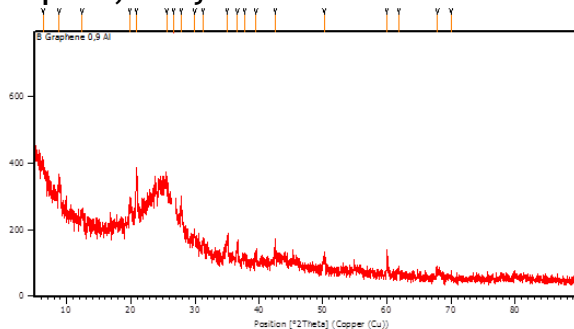


Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.7634	60.80	0.1673	10.09071	18.26
17.7003	25.37	0.2007	5.01093	7.62
18.9639	38.75	0.2007	4.67981	11.64
20.8126	53.62	0.1338	4.26812	16.11
21.4724	42.21	0.2007	3.49691	12.68
23.7804	332.89	0.1171	3.35039	100.00
28.0050	47.36	0.2007	3.18616	14.23
29.8038	25.92	0.2007	2.99783	7.79
31.6318	100.58	0.1673	2.82864	30.21
32.1002	83.97	0.2007	2.78842	25.22
33.8058	47.87	0.1673	2.65154	14.38
34.7401	15.54	0.4015	2.58234	4.67
36.5398	14.28	0.4015	2.45918	4.29
37.7510	24.07	0.2007	2.38302	7.23
42.3921	21.91	0.2676	2.13225	6.58
45.3767	32.35	0.2007	1.99871	9.72
48.7974	26.73	0.2007	1.86630	8.03

50.1190	22.74	0.2007	1.82014	6.83
61.6921	8.72	0.8029	1.50358	2.62
68.3296	11.96	0.8029	1.37281	3.59

rGO 0,6 Al

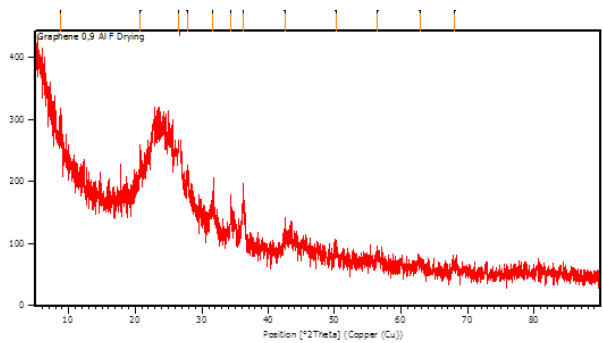
Main Graphics, Analyze View:



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6.3343	24.36	0.4015	13.95375	4.82
8.8294	65.45	0.3346	10.01541	12.95
12.3780	30.91	0.4015	7.15096	6.11
19.8916	51.46	0.3346	4.46359	10.18
20.8750	117.61	0.2342	4.25549	23.27
25.5410	56.44	0.5353	3.48768	100.00
26.6183	505.51	0.2676	3.34891	11.17
27.8650	62.44	0.2007	3.20185	12.35
29.9554	28.54	0.5353	2.98301	5.65
31.2748	27.20	0.2007	2.86011	5.38
35.0288	54.00	0.2676	2.56172	10.68
36.6563	51.12	0.2342	2.45163	10.11
37.6784	13.59	0.4015	2.38744	2.69
39.4880	23.24	0.2007	2.28211	4.60
42.5393	53.68	0.1338	2.12521	10.62
50.2029	48.23	0.2007	1.81729	9.54

60.0227	74.92	0.0612	1.54007	14.82
61.8456	14.56	0.3346	1.50022	2.88
67.9014	21.34	0.8029	1.38042	4.22
70.0122	4.77	0.9368	1.34388	0.94

rGO 0,9 Al
Main Graphics, Analyze View:



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.7757	22.77	0.4015	10.07657	11.85
20.7802	30.96	0.2007	4.27468	16.11
26.5349	192.21	0.2342	3.35924	100.00
27.7886	23.48	0.3346	3.21048	12.21
31.6105	37.39	0.6691	2.83049	19.45
34.3603	47.65	0.2007	2.61001	24.79
36.1772	80.49	0.1673	2.48299	41.88
42.4525	24.12	0.4015	2.12936	12.55
50.1985	17.60	0.4015	1.81744	9.16
56.4729	18.23	0.4015	1.62950	9.49
62.8181	9.38	0.8029	1.47931	4.88
68.0553	12.35	0.5353	1.37767	6.43

II. Perhitungan XRD

a. Perhitungan d-spacing

No	Sampel	d _{spacing}					
		2 θ ($^{\circ}$)	θ ($^{\circ}$)	Rad	Sin θ	λ (Å)	d _{spacing} (Å)
1	Grafit	26.76	13.38	0.23	0.23	1.5406	3.33
2	GO	12.45	6.225	0.10	0.10	1.5406	7.10
3	rGO	26.07	13.03	0.22	0.22	1.5406	3.49
4	rGO0,3	23.78	11.89	0.22	0.22	1.5406	3.49
5	rGO0,6	25.54	12.77	0.22	0.21	1.5406	3.48
6	rGO0,9	26.53	13.26	0.21	0.21	1.5406	3.35

b. Perhitungan Crystallite Size

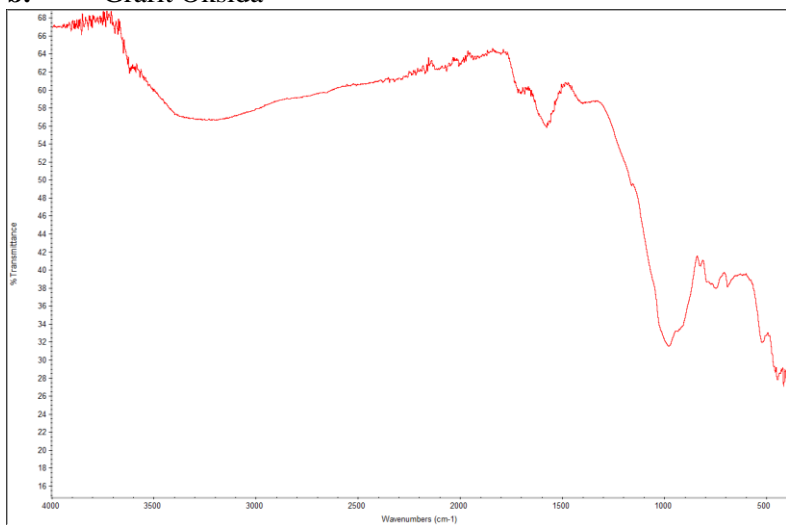
No	Sampel	Ukuran Kristal					
		FWHM ($^{\circ}$)	FWHM Rad	θ	cos θ	λ (Å)	D (nm)
1	rGO-0,3 Al	0.5353	0.00931422	11.89	0.72	1.5406	0.9 206.7538
2	rGO-0,6 Al	0.2342	0.00407508	12.77	0.97	1.5406	0.9 350.7717
3	rGO-0,9 Al	0.2007	0.00349218	13.26	0.76	1.5406	0.9 522.4229

III. Grafik FTIR

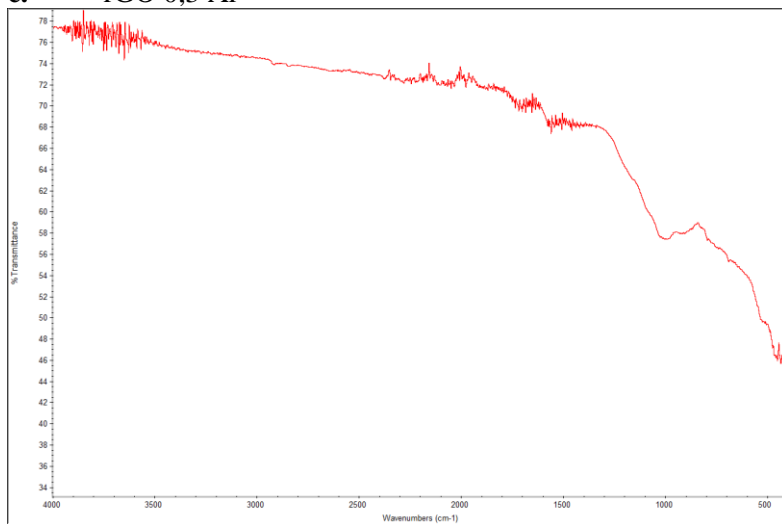
a. Grafit



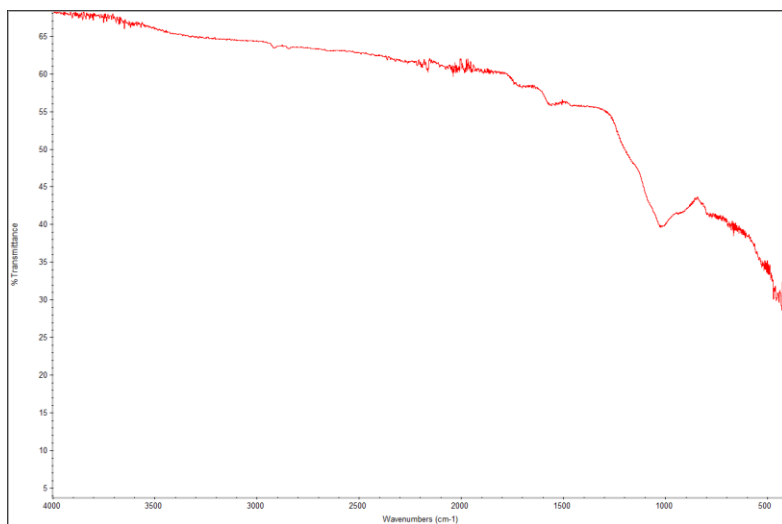
b. Grafit Oksida



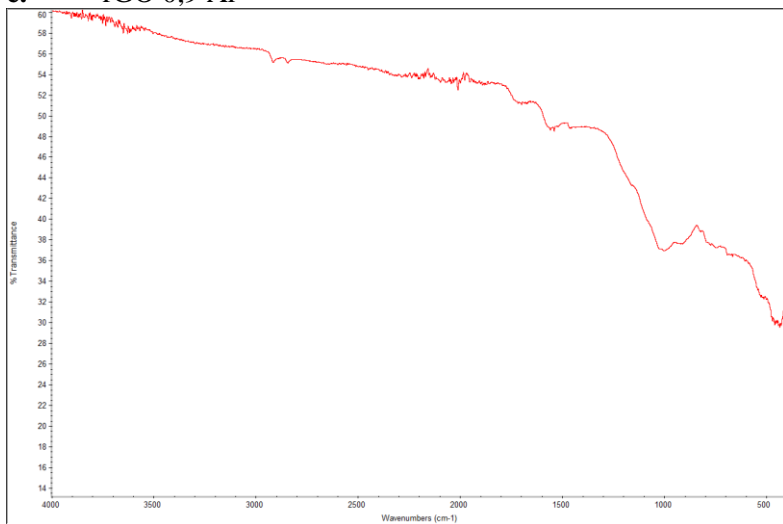
c. rGO 0,3 Al



d. rGO 0,6 Al



e. rGO 0,9 Al

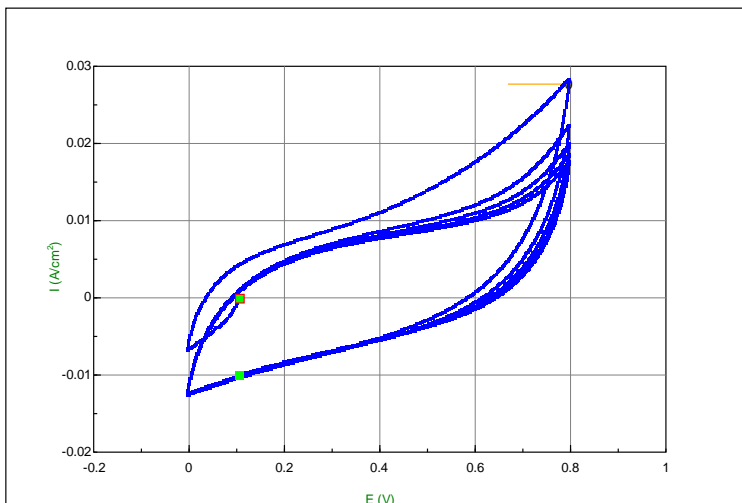


IV. Perhitungan FPP

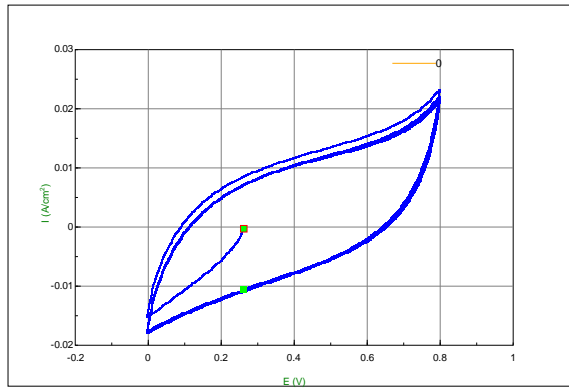
spesimen	ke-	Tebal (cm)	Volt (V)	Rata ⁿ	Arus (A)	Rata ⁿ	Ω (ohm)	Rata ⁿ	ρ (ohm/cm)	Rata ⁿ	σ (S/cm)	Rata ⁿ	σ (S/m)	Rata ⁿ
0,3 Al	1	0.004	0.0227	0.02264	0.00162	0.00161	14.0123	14.0279	0.253961128	0.25424	3.93761	3.93342	393.761	393.342
	2	0.004	0.0227		0.00162		14.0123		0.253961128		3.93761		393.761	
	3	0.004	0.0226		0.00163		13.865		0.251291176		3.97945		397.945	
	4	0.004	0.0226		0.0016		14.125		0.256002886		3.90621		390.621	
	5	0.004	0.0226		0.0016		14.125		0.256002886		3.90621		390.621	
0,6 Al	1	0.004	0.0226	0.02256	0.00169	0.0017	13.3728	13.2708	0.242368596	0.24052	4.12593	4.15772	412.593	415.772
	2	0.004	0.0225		0.0017		13.2353		0.239877769		4.16879		416.879	
	3	0.004	0.0226		0.0017		13.2941		0.240943893		4.15034		415.034	
	4	0.004	0.0226		0.00171		13.2164		0.239534864		4.17476		417.476	
	5	0.004	0.0225		0.0017		13.2353		0.239877769		4.16879		416.879	
0,9 Al	1	0.004	0.0225	0.02254	0.0022	0.0022	10.2273	10.2456	0.185360094	0.18569	5.3949	5.38538	539.49	538.538
	2	0.004	0.0225		0.00221		10.181		0.184521361		5.41943		541.943	
	3	0.004	0.0226		0.0022		10.2727		0.186183917		5.37103		537.103	
	4	0.004	0.0225		0.0022		10.2273		0.185360094		5.3949		539.49	
	5	0.004	0.0226		0.00219		10.3196		0.187034072		5.34662		534.662	

V. Grafik CV

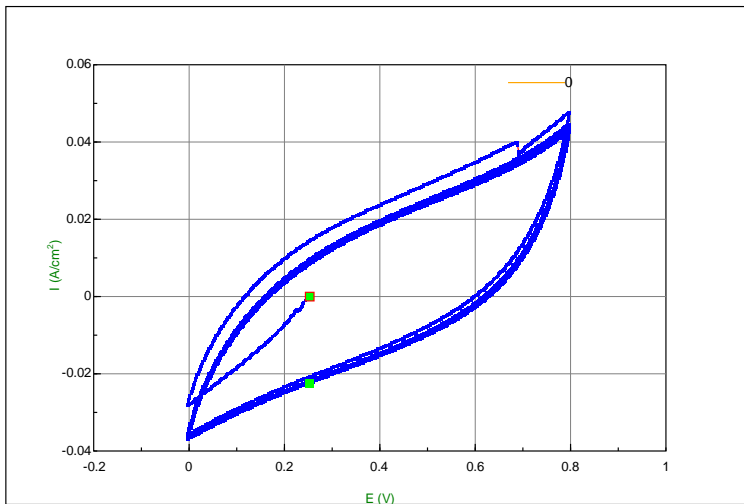
Nama Sampel : rGO 0,3
Larutan elektrolit : Na₂SO₄ 1M
Voltase : 0 – 0.8 V
Scan Rate : 5mV/s



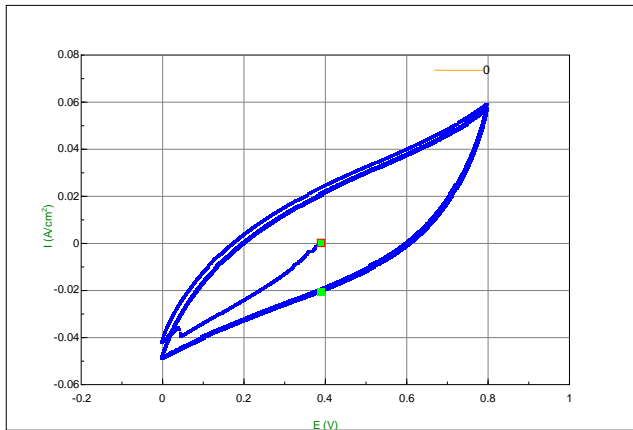
Nama Sampel : rGO 0,3
Larutan elektrolit : Na₂SO₄ 1M
Voltase : 0 – 0.8 V
Scan Rate : 10mV/s



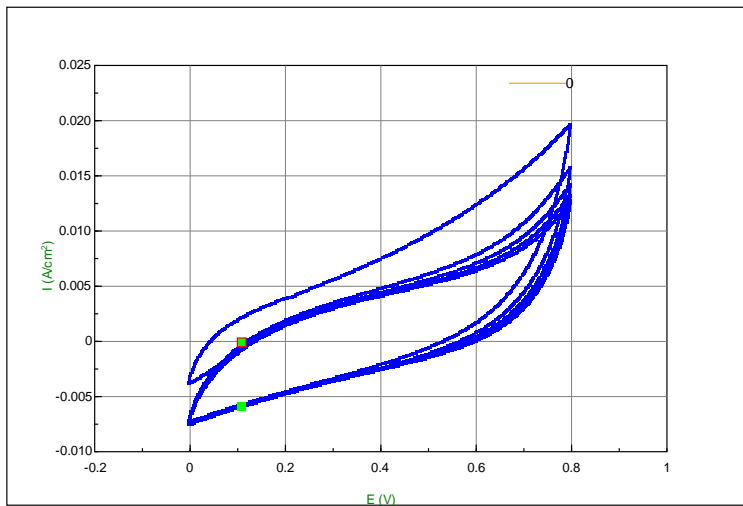
Nama Sampel : rGO 0,3
 Larutan elektrolit : Na₂SO₄ 1M
 Voltase : 0 – 0.8 V
 Scan Rate : 50mV/s



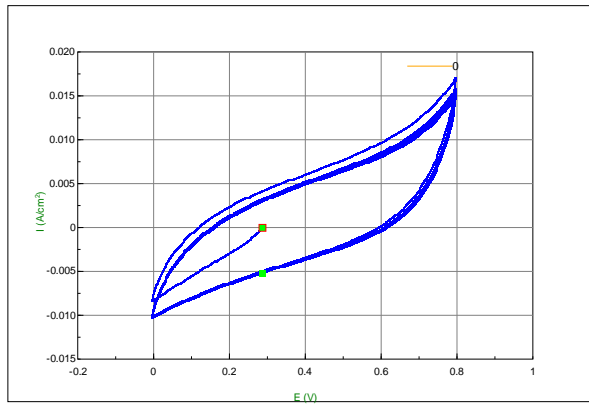
Nama Sampel : rGO 0,3
 Larutan elektrolit : Na₂SO₄ 1M
 Voltase : 0 – 0.8 V
 Scan Rate : 50mV/s



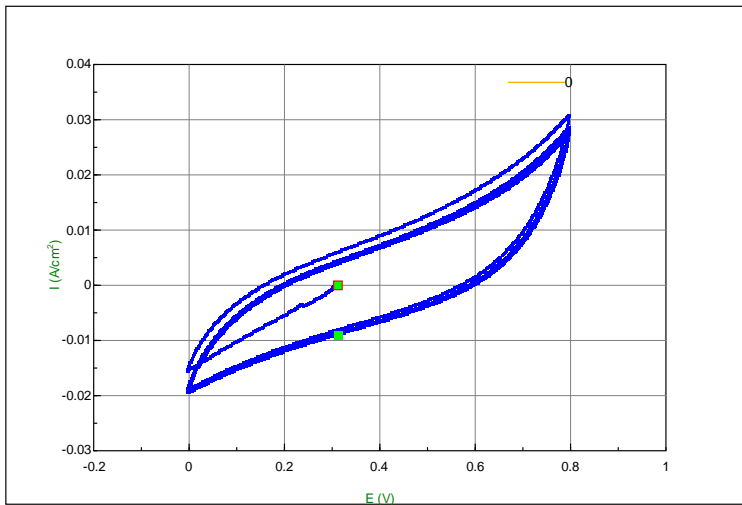
Nama Sampel : rGO 0,6
 Larutan elektrolit : Na₂SO₄ 1M
 Voltase : 0 – 0.8 V
 Scan Rate : 5mV/s



Nama Sampel : rGO 0,6
 Larutan elektrolit : Na₂SO₄ 1M
 Voltase : 0 – 0.8 V
 Scan Rate : 10mV/s

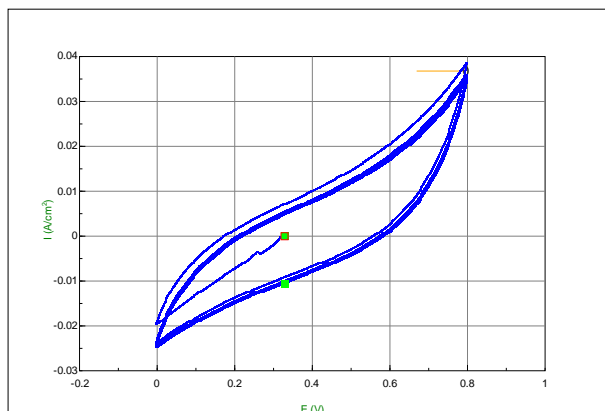


Nama Sampel : rGO 0,6
 Larutan elektrolit : Na₂SO₄ 1M
 Voltase : 0 – 0.8 V
 Scan Rate : 50mV/s

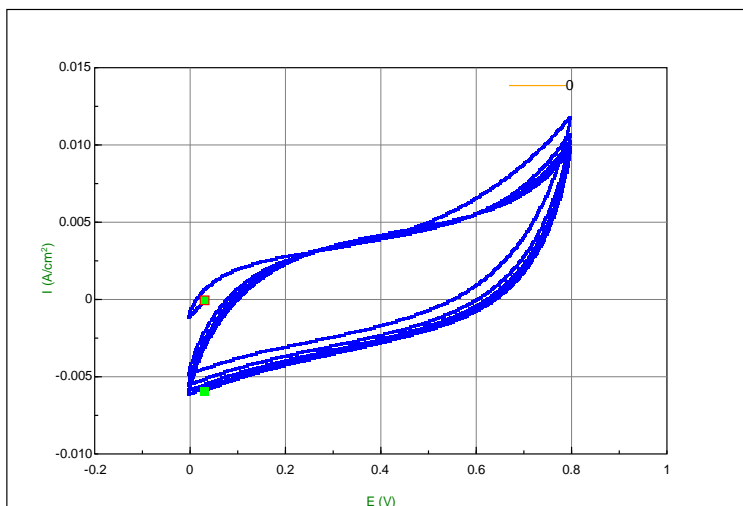


Nama Sampel : rGO 0,6
 Larutan elektrolit : Na₂SO₄ 1M

Voltase : 0 – 0.8 V
 Scan Rate : 100mV/s

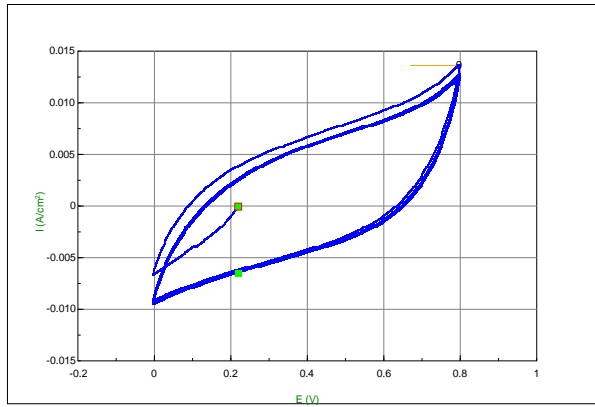


Nama Sampel : rGO 0,9
 Larutan elektrolit : Na2SO4 1M
 Voltase : 0 – 0.8 V
 Scan Rate : 5mV/s

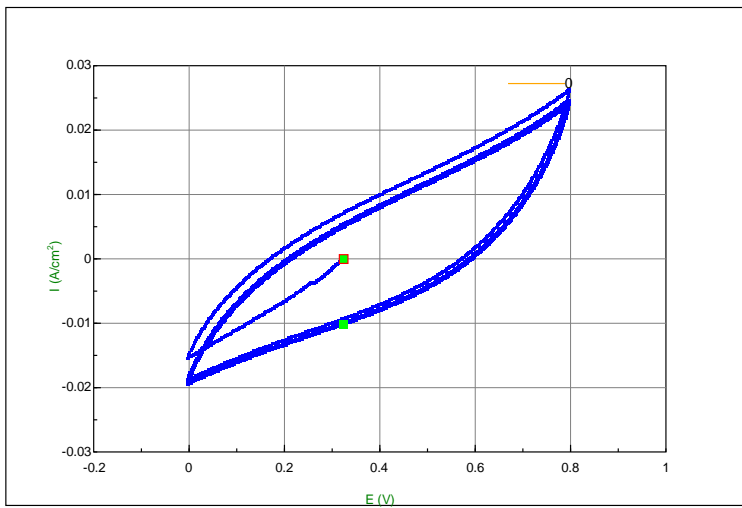


Nama Sampel : rGO 0,9
 Larutan elektrolit : Na2SO4 1M
 Voltase : 0 – 0.8 V
 xxxii

Scan Rate :10mV/s

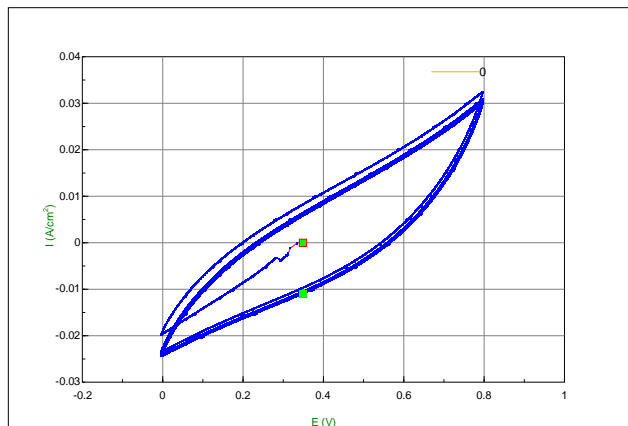


Nama Sampel : rGO 0,9
Larutan elektrolit : Na₂SO₄ 1M
Voltase : 0 – 0.8 V
Scan Rate : 50mV/s



Nama Sampel : rGO 0,9
Larutan elektrolit : Na₂SO₄ 1M

Voltase : 0 – 0.8 V
Scan Rate : 100mV/s



BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Alif Nurrohman Hakim dilahirkan di Klaten pada 09 Juli 1996. Penulis merupakan anak pertama dari 4 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 1 BONYOKAN, SMPN 1 TULUNG, SMAN 1 KARANGANOM. Setelah itu melanjutkan pendidikan perguruan tingginya di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS angkatan 2014.

Penulis mengakhiri studi S1-nya dengan mengerjakan Tugas Akhir di bidang Material Inofatif. Penulis Selama menjadi mahasiswa aktif di kegiatan akademik maupun non akademik. Dalam bidang akademik, penulis aktif menjadi, Asisten Laboratorium Korosi selama 2 Periode (2016 & 2017) Sedangkan dalam bidang non akademik, penulis aktif di beberapa kegiatan mahasiswa salah satunya Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, ITS (HMMT, FTI-ITS) sebagai Staff Departemen Sosial Masyarakat (2015/2016) dan Kadep Sosmas (2015/2016).

Saat ini penulis bertempat tinggal di Klaten. Penulis dapat dihubungi melalui alamat e-mail dan nomor telepon : alifnurrahman39@gmail.com dan : 085704773074